

*XXII Міжнародна науково-
практична конференція*

ФІЗИЧНІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7 – 9 грудня 2016 р.

м. Харків

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
Публічне акціонерне товариство «ФЕД»
Приватне акціонерне товариство ХМЗ «ПЛІНФА»
(м. Харків, Україна)
ТОВ Технічний центр «ВаріУс»
(м. Дніпро, Україна)
ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»
(м. Харків, Україна)
Приазовський державний технічний університет
(м. Маріуполь, Україна)
Одеський національний політехнічний університет
(м. Одеса, Україна)
Луцький національний технічний університет
(м. Луцьк, Україна)
Національний технічний університет «ХП»
(м. Харків, Україна)
ПАТ «Завод «Південкабель»
ПАТ «Світло шахтаря»,
ТОВ «Імперія металів»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України (м. Київ, Україна)
Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка
Університет, Делі (Індія)
Політехнічний університет (м. Валенсія, Іспанія);
Грузинський технічний університет (м. Тбілісі, Грузія)
ДНВО «Центр» НАН Білорусі (м. Мінськ)
Вища технічна школа механіки (Сербія)
Технічний університет (м. Кишинів, Молдова)



МАТЕРІАЛИ
XXII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ФІЗИЧНІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ»
7 - 9 грудня 2016 року

м. Харків

УДК 62-65: 621.382.82
Ф 50

Ф50 Фізичні та комп'ютерні технології. Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції, 7–9 грудня 2016, м. Харків. – Д. : ЛІРА, 2016. – 510 с.

ISBN 978-966-383-795-6

Представлено наукові праці, в яких розглянуто наукові концепції розвитку технології машинобудування, механічної і фізико-технічної обробки; інноваційні технології, обладнання та інструменти; безпечні технології виробництва і охорони навколишнього середовища; проблеми економіки промисловості; проблеми динаміки та міцності машин, математики, механіки та управління.

Для спеціалістів промислового виробництва, науково-технічних працівників, економістів, студентів, аспірантів та викладачів.

УДК 62-65: 621.382.82

Матеріали відтворено з авторських оригіналів

ISBN 978-966-383-795-6

© Колектив авторів, 2016
© ЛІРА, 2016

1. НАУКОВІ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ

УДК 621.923

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА ЯКИМОВА АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА

Новиков Ф. В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Технология машиностроения является одной из самых масштабных и развитых технологий современности, которая сосредоточила в себе огромное количество технических достижений в виде открытий, изобретений и результативных технологических решений, направленных на повышение качества, производительности и экономичности изготовления деталей и машин. Большая заслуга в этом принадлежит выдающемуся ученому-технологу, теплофизику, механику, материаловеду, доктору технических наук, профессору, Заслуженному деятелю науки Украины, Лауреату государственной премии Украины Якимову Александру Васильевичу, основателю научной школы технологов-машиностроителей в Одессе, получившей широкое признание в нашей стране и за рубежом. Его решения по теплофизике и механике абразивной обработки признаны классическими, а разработанный метод прерывистого шлифования стал одним из основных методов высококачественной обработки изделий, изготовленных из материалов с повышенными физико-механическими свойствами, исключаящий прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты на обрабатываемых поверхностях и обеспечивающий одновременно увеличение производительности обработки. Его идея о пульсирующем нагревании обрабатываемой детали с микроскопическими интервалами охлаждения и существовании периода теплового насыщения за счет прерывистости обработки положена в основу снижения температуры резания при создании высокоэффективных методов абразивной и алмазно-абразивной обработки, включая шлифование прерывистыми кругами (в т.ч. отрезными) и шлифовальными лентами, нанесение “масляных карманов” на трущиеся поверхности и т.д. Особенно значительный эффект от применения прерывистого шлифования был достигнут на операциях обработки сложнопрофильных деталей авиационной техники – турбинных лопаток, зубчатых колес и т.д., где тепловые процессы проявлялись в наибольшей степени и определяли качество обрабатываемых поверхностей [1–5].

Александр Васильевич начал свою научную деятельность в Пермском политехническом институте после окончания Московского авиационного института, занимаясь проблемами разработки и изготовления авиационных двигателей на Пермском моторостроительном заводе. Здесь родились его первые идеи о методах управления процессом шлифования и создания прерывистого шлифования, которые, по истине, стали переломным моментом не только в

жизни Александра Васильевича, но и всей технологической науки. На смену устаревшим знаниям пришли новые технологические знания, объединившие в себе фундаментальные законы механики, теплофизики, материаловедения, химии, математики и других наук, которыми в совершенстве владел Александр Васильевич. Несомненно, лишь благодаря этим знаниям и его могучему таланту могли родиться новые технологические решения, которые кардинально изменили наши представления о технологических возможностях обработки деталей машин. Подтверждением тому стала защищенная им в 1970 году докторская диссертация на тему «Технологические основы процесса шлифования кружками с прерывистой рабочей поверхностью». В ней отражены проблемы и перспективы технологической науки на многие годы. Работа написана ярким лаконичным, красочным научно-техническим языком, а монографии и учебные пособия, написанные в развитие докторской диссертации, стали настольными книгами для многих специалистов и ученых.

Благодаря научным разработкам Александра Васильевича, руководимая им кафедра технологии машиностроения Пермского политехнического института стала одним из Центров технологической науки, а Александр Васильевич получил всеобщее признание и занял достойное место в ряду ведущих ученых-технологов. Его разработки широко внедрялись на различных предприятиях – от производства современной авиационной техники до обработки твердых пород камня, где остро стояли проблемы качества и производительности обработки. На многих инструментальных заводах было организовано изготовление абразивных инструментов с прерывистыми поверхностями, что свидетельствовало о весомости и масштабности его научных исследований. Все это стало итогом большой и скрупулёзной работы и учебы Александра Васильевича – одного из самых талантливых аспирантов Московского авиационного института.

Своими знаниями и большим опытом Александр Васильевич щедро делился с творческой молодежью. Еще до защиты своей докторской диссертации, он подготовил плеяду кандидатов технических наук, которая после защиты значительно расширилась и стала основой созданной им научной школы технологов-машиностроителей. Многие из них стали профессорами и докторами технических наук, руководителями предприятий, которые и в настоящее время продолжают развивать его научные идеи и доводить их до практического применения в производстве, вносят большой вклад в развитие промышленности и являются достойными учениками своего Учителя.

Простота и скромность, внимательность, чувство юмора и огромный запас знаний Александра Васильевича постоянно притягивали к нему людей. Он с необыкновенной легкостью разбирался в самых сложных технологических вопросах и подсказывал, какое правильное решение необходимо принять в каждом конкретном случае: то ли при разработке нового заводского технологического процесса, то ли при подготовке кандидатской или докторской диссертации. За это его очень любили и уважали все, кто с ним сталкивался.

В 1974 году Александра Васильевича по рекомендации выдающегося ученого-технолога профессора Маталина А.А. пригласили возглавить кафедру технологии машиностроения Одесского политехнического института, которая

являлась одним из технологических Центров страны. Александр Васильевич с интересом принял это приглашение, прошел конкурс и до последних дней своей жизни работал на этой кафедре. Ему очень нравилась прекрасная солнечная Одесса, творческий коллектив знаменитой кафедры технологии машиностроения. Здесь по-настоящему раскрылся его талант исследователя-ученого, и он сумел теоретически обобщить свои научные результаты, выйти на качественно новый уровень понимания физической сущности механической обработки и технологии машиностроения в целом, разработать важные практические предложения по развитию технологии машиностроения. В Одессе им написано много монографий, учебников, учебных пособий, статей, получено до 100 авторских свидетельств на изобретения. Как отмечает профессор Ларшин В.П., его ученик, благодаря настойчивости и целеустремленности А. В. Якимов смог заинтересовать и объединить вокруг себя большой коллектив научных сотрудников, нацелив их на решение единой комплексной проблемы – увеличение долговечности машин технологическими методами.

В Одесском политехническом институте его детище – прерывистое шлифование – получило «новое дыхание»: оно было признано основным научным направлением деятельности кафедры. По этой тематике выполнялись бюджетные и хоздоговорные работы, аспирантами и соискателями усиленными темпами велась подготовка диссертационных работ. Многие его ученики защитили кандидатские диссертации в специализированном совете Одесского политехнического института, а всего им подготовлено 55 кандидатов и 5 докторов технических наук, среди которых и автор настоящей статьи.

Александр Васильевич внес значительный вклад в создание в Одесском политехническом институте ведущего в стране научного Центра по проблемам разработки новых зубчатых передач – конструкций зубчатых колес и редукторов, что позволило объединить этапы их проектирования и изготовления в единое целое благодаря тесному сотрудничеству кафедр «Детали машин», «Технология машиностроения» и других, а также благодаря разработкам Александра Васильевича в области зубошлифования с применением прерывистых кругов.

Длительное время профессор Якимов А.В. был председателем методической комиссии Министерства образования и науки Украины и к нему с большим удовольствием приезжали на совещания заведующие кафедрами технологии машиностроения и преподаватели, делились опытом и всегда уезжали с новыми знаниями и идеями, которые так нужны творческой интеллигенции. Он был избран почетным профессором Киевского политехнического университета и академиком Инженерной Академии Украины. С 1980 по 1985 гг. был членом Комитета по присуждению Государственных премий при Совете Министров УССР. С 1986 по 1989 гг. был членом экспертного совета Высшей аттестационной комиссии УССР, а с 1995 по 1998 гг. – председателем специализированного совета по присуждению научных степеней.

В 1986 году Александр Васильевич стал Лауреатом государственной премии Украины. Руководимая им кафедра тесно сотрудничала с различными предприятиями и организациями, занималась разработкой прогрессивных тех-

нологических процессов, оборудования и инструментов. Следует отметить, что Александра Васильевича постоянно буквально «атаковала» армия производителей с просьбой как можно быстрее разработать практические рекомендации по внедрению прерывистого шлифования и других технологических разработок в производство. Не менее многочисленной была армия аспирантов, докторантов и соискателей, которые приезжали в Одессу к профессору Якимову А.В. со всех уголков страны для получения консультаций по диссертационным работам. И он всегда для всех находил время, из всего многообразия идей, которые привозили аспиранты, мог найти «изюминку» и подсказать, как можно выстроить работу, а главное – как завершить ее и сделать привлекательной и полезной обществу. Его авторитет был безупречен. Без участия профессора Якимова А.В. в стране фактически не проходила ни одна защита докторской диссертации по тематике шлифования и абразивной обработке. Он считал, что прежде чем выходить на защиту докторской диссертации, докторанту необходимо ее доложить и получить признание на всех ведущих кафедрах страны. Этому принципу следовал он сам и требовал от своих учеников, за что мы ему очень благодарны. Для популяризации научных разработок по его предложению в г. Харькове на базе машиностроительного завода «ФЭД» – флагмана отечественного машиностроения – начиная с 2000 г. ежегодно проводятся международные научно-практические конференции «Физические и компьютерные технологии». Всего под научным руководством профессора Якимова А.В. проведена 21 конференция, последняя из которых состоялась 24–25 декабря 2015 г. Они стали своего рода смотром научных и практических идей и достижений в различных отраслях промышленности, открыли для творческой молодежи новые направления научного поиска при решении практических задач. Каждый раз, выступая на конференции, Александр Васильевич много внимания уделял работе с молодыми исследователями, которым предстоит в будущем развивать научные идеи. В этом он видел основной смысл созданной им научной школы.

Сегодня мы проводим очередную 22 конференцию. И хотя Александра Васильевича уже нет с нами, но мы идем по намеченному им пути: соединяя науку с производством, обобщая опыт разработки и внедрения в производство новых инновационных технологий, металлорежущего оборудования и инструментов, обмениваясь научно-практической информацией, устанавливая деловые контакты, рекламируя продукцию, осуществляя презентацию новых фирм и компаний. Надеемся, что эти наши встречи помогут профессорско-преподавательскому составу учебных заведений улучшить качество обучения студентов, которым предстоит развивать науку, производство и нашу страну.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Якимов А.В. Качество изготовления зубчатых колес / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1979. – 279 с. 3. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 5. Технология машиностроения: учебник / Ф.В. Новиков, П.А. Линчевский, В.П. Ларшин, Е.В. Грисенко, А.А. Якимов, А.В. Фадеев, Г.В. Новиков. – Одесса: ОНПУ, 2012. – 693 с.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КРУГЛОГО ШЛИФОВАНИЯ НАПЛАВЛЕННЫХ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНУСОВ И ЧАШ ЗАСЫПНЫХ АППАРАТОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Андилахай В.А., канд. техн. наук

(ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь, Украина)

Предложена схема абразивного круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе, которая по сравнению с обычным круглым многопроходным продольным шлифованием по жесткой схеме (осуществляемым с небольшими глубинами шлифования 0,01...0,02 мм на токарно-карусельном станке в производственных условиях) позволяет обеспечить требуемое качество обработки и увеличить производительность. Установлено, что основным резервом эффективного применения данной схемы шлифования в производственных условиях является увеличение жесткости системы, т.к. все резервы уменьшения энергоемкости обработки и повышения качества и производительности фактически использованы.

Ключевые слова: круглое шлифование, абразивный круг, твердость материала, жесткость системы, толщина среза, износ круга.

Запропоновано схему абразивного круглого шліфування з заданим натягом в технологічній системі, яка порівняно зі звичайним круглим багатопрохідним поздовжнім шліфуванням за жорсткою схемою (здійснюваним з невеликими глибинами шліфування 0,01 ... 0,02 мм на токарно-карусельному верстаті в виробничих умовах) дозволяє забезпечити необхідну якість обробки і збільшити продуктивність. Встановлено, що основним резервом ефективного застосування даної схеми шліфування в виробничих умовах є збільшення жорсткості системи, тому що всі резерви зменшення енергоємності обробки і підвищення якості та продуктивності фактично використані.

Ключові слова: кругле шліфування, абразивний круг, твердість матеріалу, жорсткість системи, товщина зрізу, знос круга.

A circular abrasive grinding circuit with a predetermined interference in the process system, which compared to conventional multi-pass round the longitudinal grinding on the rigid scheme (carried out with small grinding depth of 0.01 ... 0.02 mm Turning and turning machines in a production environment) ensures the required processing quality and increase productivity. It is found that the main application of the effective reserve grinding circuit operating conditions is to increase the stiffness of the system, since the all reserves reduce energy consumption and improve processing quality and productivity is actually used.

Keywords: cylindrical grinding, grinding wheel, material hardness, rigidity of the system, slice thickness, wear range.

Постановка проблемы. Применение износостойких наплавочных материалов для восстановления рабочих поверхностей деталей машин позволяет существенно повысить ресурс их работы. Однако, в связи с высокой твердостью наплавленных материалов их дальнейшая механическая обработка шлифованием характеризуется высокой трудоемкостью. Например, процесс кругло-

го шлифования контактных рабочих поверхностей с износостойкими наплавленными материалами больших и малых конусов и чаш (диаметром 5000 мм и 2000 мм) засыпных аппаратов доменных печей для обеспечения требуемых параметров точности и качества обрабатываемых поверхностей протекает с высокой трудоемкостью.

Основными причинами низкой эффективности обработки являются плохая обрабатываемость шлифованием износостойких наплавленных материалов, таких как Пл-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердостью HRC 58–59, значительная неравномерность снимаемого припуска (3–7 мм на сторону), большая площадь обрабатываемых поверхностей (поясов) и низкая жесткость технологической системы (токарно-карусельного станка, на котором осуществляется процесс шлифования).

Как установлено экспериментально, применение алмазного электроэрозионного шлифования также оказалось малоэффективным вследствие интенсивного засаливания алмазного круга и потери его режущей способности. Поэтому повысить эффективность действующего технологического процесса шлифования можно путем снижения силовой и тепловой напряженности шлифования за счет выбора новых прогрессивных схем шлифования и оптимальных режимов резания. Важно обеспечить устранение неравномерности снимаемого припуска на операции предварительного шлифования, что сократит продолжительность окончательного шлифования.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы механической обработки высокотвердых наплавочных материалов отражены в многочисленных публикациях [1-3].

В работе [1] приведены результаты экспериментальных исследований лезвийной и абразивной обработки алмазными инструментами наплавочных материалов твердостью HRC 50-55, нанесенных на рабочие поверхности изделий металлургического назначения.

Работа [2] посвящена исследованию процесса шлифования алмазными кругами на металлических связках наплавочных материалов большей твердости – HRC 60-62. Отмечается, что в этом случае трудоемкость обработки значительно выше в связи с высокой силовой напряженностью процесса и интенсивным износом и засаливанием алмазного круга. Это указывает на необходимость исследований процесса по изысканию новых технологических возможностей эффективной обработки шлифованием наплавочных материалов высокой твердости, которые используются для упрочнения контактных поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения.

Цель работы – повышение точности и производительности обработки при круглом шлифовании контактных поверхностей с износостойкими наплавленными материалами конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей на основе научно обоснованного выбора оптимальной схемы и параметров режимов шлифования.

Изложение основного материала. Первоначально определены условия устранения неравномерности снимаемого припуска на операции предварительного шлифования при относительно низкой жесткости технологической систе-

мы. Используя теоретический подход к установлению погрешностей обработки (обусловленных возникающими в технологической системе упругими перемещениями) [4], аналитически определена погрешность формы обрабатываемой поверхности при круглом шлифовании по жесткой схеме (рис. 1):

$$\Delta y = y_1 - y_2 = y_{уст} \cdot (\varepsilon^{-n_2} - \varepsilon^{-n_1}), \quad (1)$$

где y_1, y_2 – упругие перемещения, образующиеся при обработке участков поверхности с наибольшим и наименьшим снимаемыми припусками, м; n_1, n_2 – количество проходов круга; $y_{уст} = B_1 \cdot t$ – упругое перемещение при установившемся процессе шлифования, м; $B_1 = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot S_{прод} \cdot \sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ – безразмерный параметр; $\varepsilon = 1 + 1/B_1$ – уточнение на проходе круга; t – глубина шлифования, м; $S_{прод}$ – скорость продольной подачи, м/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоёмкость обработки, Дж/м³); $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – жесткость технологической системы, Н/м; $D_{дет}$ – диаметр детали, м.

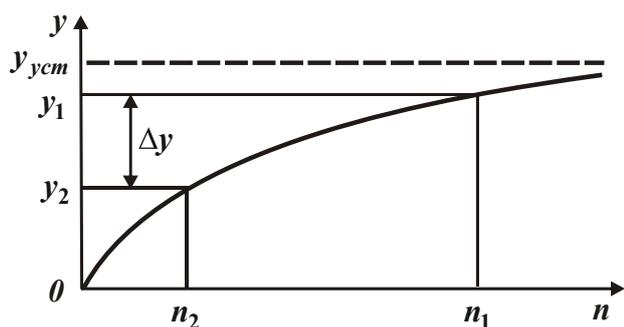


Рис. 1 – Зависимость величины y от количества проходов n

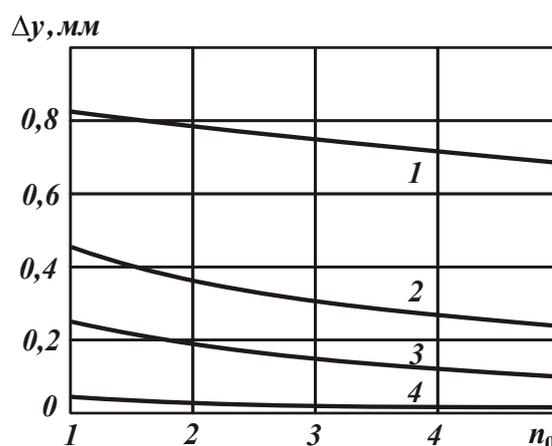


Рис. 2 – Зависимость Δy от n_0 : 1 – $\varepsilon = 1,1$; 2 – $\varepsilon = 1,5$; 3 – $\varepsilon = 2$; 4 – $\varepsilon = 5$

Согласно зависимости (1), уменьшить $\Delta y \rightarrow 0$ можно уменьшением величины $y_{уст}$ и увеличением ε, n_1 и n_2 . Уменьшение $y_{уст} = B_1 \cdot t$ и увеличение ε связано с уменьшением B_1 путем уменьшения параметров $\sigma, S_{прод}, D_{дет}$ и увеличения $c, K_{ш}$ и $V_{кр}$. Увеличение количества проходов круга n_1 и n_2 предполагает обеспечение установившегося во времени процесса шлифования, при котором $y_1 \rightarrow y_{уст}$ и $y_2 \rightarrow y_{уст}$ (рис. 1). Однако, это возможно при относительно больших значениях уточнения $\varepsilon > 1$. В противном случае будет происходить копирование обрабатываемой поверхности по проходам круга, что имеет место в действующем процессе круглого шлифования. Поэтому необходимо увеличивать ε за счет уменьшения B_1 .

На рис. 2 приведены рассчитанные по преобразованной зависимости (1)

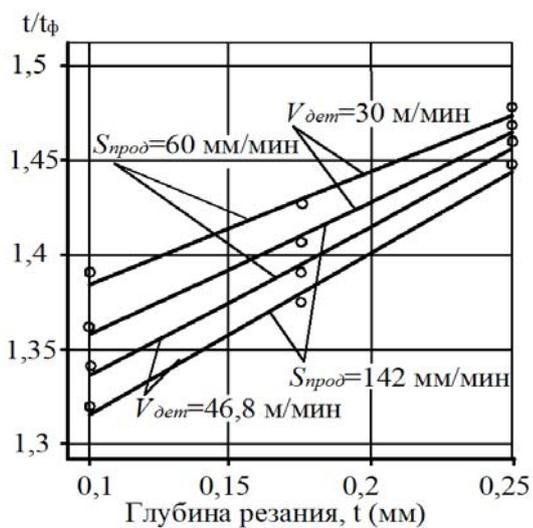
$$\Delta y = \frac{\Delta \Pi}{(\varepsilon - 1)} \cdot \varepsilon^{-n_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-n_0})}{n_0} \quad (2)$$

значения Δy (где $n_0 = n_1 - n_2 = \Delta \Pi / t$; $\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_2$; Π_1, Π_2 – наибольшее и наименьшее значения снимаемого припуска, м). Как видно, уменьшить Δy можно увеличением n_0 и ε , что достигается уменьшением параметров $t, S_{\text{прод}}$. Однако, это снижает производительность обработки $Q = \pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot S_{\text{прод}} \cdot t$ и не эффективно. Более эффективно применение шлифования с заданным натягом в технологической системе, равным величине $y_{\text{уст}}$ (рис. 1). Это позволит увеличить Q за счет исключения переходного процесса в технологической системе и обеспечения равенства фактической и номинальной глубин шлифования:

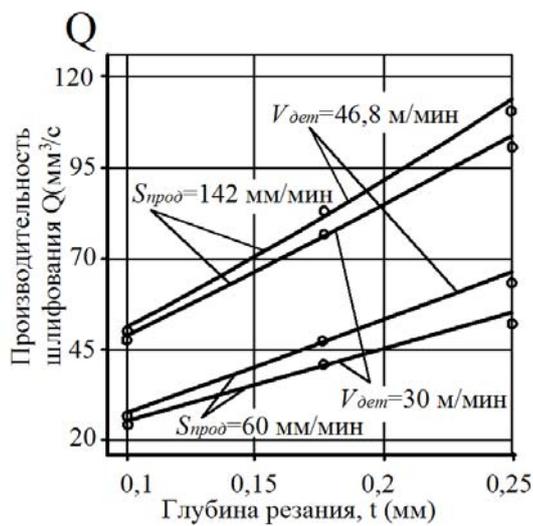
$$Q = \frac{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}} \cdot y_{\text{уст}}}{\sigma} \quad (3)$$

В условиях круглого шлифования с низкой жесткостью технологической системы с основными путями увеличения уточнения ε является уменьшение параметров $D_{\text{дет}}, S_{\text{прод}}, \sigma / K_{\text{ш}}$ и увеличение $V_{\text{кр}}$. Однако диаметры обрабатываемых конусов и чаш – весьма большие, составляющие 2000–5000 мм. Поэтому уточнение принимает малые значения $\varepsilon \rightarrow 1$, что существенно снижает производительность обработки. В этих условиях увеличить реально ε можно уменьшением $S_{\text{прод}}$ и $\sigma / K_{\text{ш}}$.

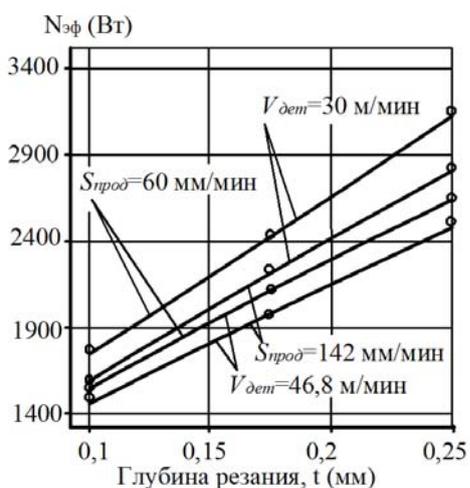
С целью поддержания производительности обработки $Q = \pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot S_{\text{прод}} \cdot t$ на заданном уровне, очевидно, с уменьшением $S_{\text{прод}}$ необходимо глубину шлифования t увеличивать, применяя глубинное шлифование. Для количественной оценки уточнения ε необходимо знать параметры $\sigma, K_{\text{ш}}$ и c , которые можно установить экспериментальным путем. Поэтому первоначально были проведены в лабораторных условиях экспериментальные исследования процесса шлифования на круглошлифовальном станке мод. 3А151. Обработывался цилиндрический образец с наплавленным материалом ПЛ-НП 500Х40НС2 РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердостью НРС 58–59. Обработка производилась по схеме круглого наружного глубинного (однопроходного) продольного шлифования абразивным кругом (14А 50 СТЗ 5 К ПП 35 м/с 350×40×127 А) с частотой вращения круга $n_{\text{кр}} = 1400$ об/мин ($V_{\text{кр}} = 25,6$ м/с) без применения СОЖ. Установлено, что жесткость технологической системы составляет $c = 11,11 \cdot 10^6$ Н/м. Определялись фактическая глубина шлифования $t_{\text{ф}}$, производительность обработки Q , эффективная мощность шлифования $N_{\text{эф}}$, энергоемкость обработки $\sigma = N_{\text{эф}} / Q$, тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания, коэффициента шлифования $K_{\text{ш}} = P_z / P_y$. Для установления данных параметров в ходе проведения экспериментальных исследований измерялись значения диаметров образца до и после обработки, и по их разности определялась фактическая глубина шлифования $t_{\text{ф}}$.



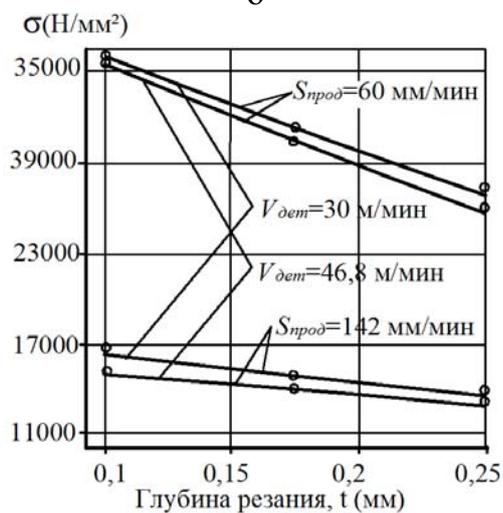
а



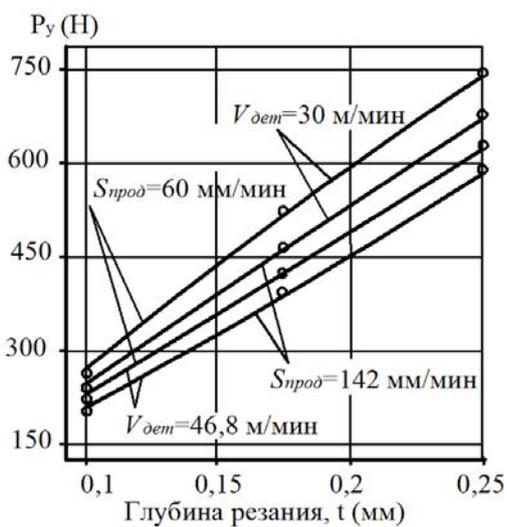
б



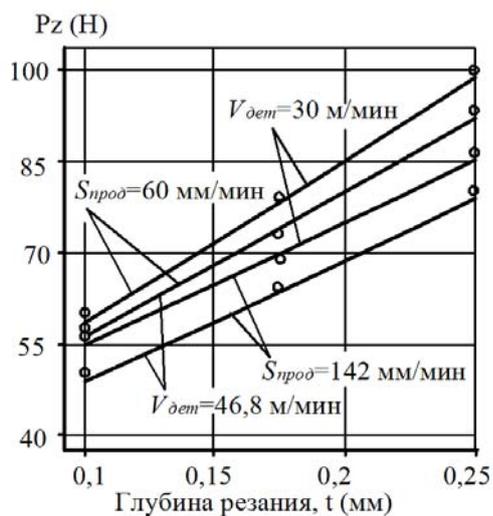
в



г



д



е

Рис. 3 – Зависимости t/t_ϕ (а), Q (б), $N_{эф}$ (в), σ (г), P_y (д) и P_z (е) от t

Измерялась также мощность электродвигателя шлифовального круга при холостом ходе и при шлифовании. По разности этих значений определялась

эффективная мощность шлифования $N_{эф}$. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3.

Как установлено, параметры шлифования изменяются в следующих пределах: $t/t_{\phi}=1,331\dots1,464$; $B_1=0,331\dots0,464$; $\varepsilon=6,46\dots8,33$; $Q=20,3\dots110,9$ мм³/с =1218...6654 мм³/мин; $N_{эф}=1230\dots2490$ Вт; $\sigma=11810\dots35110$ МПа; $K_{ш}=0,11\dots0,33$; $H=0,37\dots1,41$ мм.

Относительно небольшие значения $K_{ш}$ свидетельствуют о том, что процесс шлифования протекает в условиях достаточно интенсивного трения обрабатываемого материала со связкой круга. Это подтверждается также и относительно большими значениями энергоемкости обработки σ .

Вместе с тем, в связи с достаточно высокой жесткостью технологической системы ($c=11,11\cdot10^6$ Н/м) отношение номинальной и фактической глубин шлифования t/t_{ϕ} небольшое, что указывает на возможность осуществления высокопроизводительного процесса абразивного круглого наружного шлифования труднообрабатываемого наплавленного материала твердостью HRC 58–59. При этом уточнение ε принимает относительно большие значения, что позволяет решить задачу устранения погрешности формы обрабатываемой поверхности (обусловленной неравномерностью снимаемого припуска) при высокопроизводительном предварительном шлифовании.

Следовательно, применяя схему круглого наружного глубинного шлифования наплавленного материала, можно обеспечить высокопроизводительный съем значительных припусков и существенно повысить эффективность обработки. Однако, следует отметить, что такой результат получен в лабораторных условиях при использовании круглошлифовального станка повышенной жесткости.

При шлифовании наплавленных контактных поверхностей конусов и чаш в производственных условиях на токарно-карусельном станке добиться таких высоких результатов сложно. Связано это с низкой жесткостью технологической системы, которая, как установлено, равна $3,42\cdot10^6$ Н/м, что в 4 раза ниже жесткости круглошлифовального станка мод. 3А151, на котором проводились экспериментальные исследования в лабораторных условиях. При этом $D_{дет}=5000$ мм больше в 20...50 раз. В этом случае при $S_{прод}=142$ мм/мин расчетное значение уточнения весьма малое $\varepsilon=1,032$ ($t/t_{\phi}=32,25$; $B_1=31,25$).

В условиях многопроходного продольного шлифования ($S_{прод}=1-2$ м/мин) значения t/t_{ϕ} многократно увеличиваются, а уточнение $\varepsilon \rightarrow 1$. Собственно, этим и объясняется чрезвычайно низкая эффективность (низкая производительность обработки) действующего технологического процесса круглого шлифования наплавленных контактных поверхностей конусов и чаш на токарно-карусельном станке. При этом съем припуска производится за весьма большое количество продольных ходов круга, а исправление погрешности формы обрабатываемой поверхности (обусловленной неравномерностью снимаемого припуска) при предварительном шлифовании практически не происходит. По

сути, в процессе шлифования имеет место копирование неровностей обрабатываемой поверхности, что требует последующего длительного выхаживания с целью обеспечения заданной точности формы обрабатываемой поверхности. Естественно, это требует изыскания новых путей повышения эффективности обработки.

Как установлено в ходе экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях, процесс шлифования эффективно протекает при глубинах шлифования $0,1 \dots 0,25$ мм, т.е. при достаточно высокой производительности обработке. Чтобы реализовать данный режим шлифования на токарно-карусельном станке в производственных условиях, необходимо в технологической системе создать натяг $y_{ycm} = B_1 \cdot t$, равный $31,25 \cdot (0,1 \dots 0,25 \text{ мм}) = 3,125 \dots 7,8$ мм. Очевидно, это практически неосуществимо. Реально можно реализовать натяг y_{ycm} в пределах до $0,5$ мм, что соответствует $t = y_{ycm} / B_1 = 0,5 \text{ мм} / 31,25 = 0,016$ мм. При меньшем значении y_{ycm} глубина шлифования t будет еще меньше. Например, при $y_{ycm} = 0,15$ мм – глубина шлифования $t = y_{ycm} / B_1 = 0,0048$ мм.

Для эффективного ведения процесса обработки при низкой жесткости технологической системы (т.е. когда $\varepsilon \rightarrow 1$) целесообразно использовать схему круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе и небольшой скоростью продольной подачи.

Практической реализацией данной схемы может быть глубинное продольное шлифование с небольшой долевой продольной подачей $S_d \ll 1$ и увеличенной скоростью детали.

Для оценки достоверности теоретических решений проведены экспериментальные исследования параметров круглого наружного шлифования наплавленной контактной поверхности конуса диаметром $D_{dem} = 5000$ мм на токарно-карусельном станке в производственных условиях ПАО "Азовмаш". Обработывался наплавочный материал Пл-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85). Обработка производилась без применения охлаждающей жидкости абразивным кругом на бакелитовой связке ВФ, усиленной стекловолокном – ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВФ.

Традиционно данная операция круглого шлифования выполнялась с применением абразивного круга на бакелитовой связке В, который характеризуется более низкой режущей способностью, чем абразивный круг на бакелитовой связке ВФ. В работе исследовались также абразивные круги большей зернистости: 16 – 18 (по FEPA размер зерна $1,6 - 1,2$ мм соответственно). Режимы шлифования: $V_{кр} = 30$ м/с; $V_{dem} = 120$ м/мин; $S_{прод} = 41,5$ мм/мин (ширина шлифования $H = 5,4$ мм; $S_d = 0,086$); $y_{ycm} = 0,05 \dots 0,45$ мм. В этом случае расчетные значения $B_1 = 8,13$; $\varepsilon = 1,14$.

Экспериментально установлено, что припуск величиной 5 мм при $t = 0,15$ мм был удален за 140 продольных ходов круга (время одного продольного хода равно 7 мин). Номинальное количество продольных ходов круга равно

$n = \Pi / t = 33$. Следовательно, $t_{\phi} = 0,036$ мм. Тогда $t / t_{\phi} = 4,1$; $B_1 = t / t_{\phi} - 1 = 3,1$. Как видно, данное значение B_1 в 2,6 раза меньше исходного (расчетного) значения $B_1 = t / t_{\phi} - 1 = 8,13$.

Аналогичным образом были определены значения t_{ϕ} , t / t_{ϕ} и B_1 для других значений t (табл. 1). Как видно, во всех случаях значения безразмерного параметра B_1 меньше исходного расчетного значения 8,13. С увеличением номинальной глубины шлифования t фактическая глубина шлифования t_{ϕ} увеличивается, а безразмерный параметр B_1 , наоборот, уменьшается, принимая значения, до 4-х раз меньше расчетного значения 8,13 (табл. 1). Это указывает на увеличение до 3-х раз фактической глубины шлифования t_{ϕ} и соответственно производительности обработки, что обусловлено уменьшением энергоемкости обработки σ в связи с работой абразивного круга в режиме интенсивного износа и самозатачивания.

Таким образом, экспериментально установлено, что при шлифовании по данной схеме достигается эффект обработки. Причем, он достигается как за счет применения шлифования с заданным натягом в технологической системе, так и за счет применения крупнозернистого абразивного круга, обладающего высокой режущей способностью. Производительность обработки при этом принимает значения, превышающие значения производительности обработки, полученные в лабораторных условиях на круглошлифовальном станке повышенной жесткости. Это обусловлено тем, что в лабораторных условиях энергоемкость обработки σ была выше в связи с более высокой твердостью применяемого абразивного круга.

Таблица 1

Экспериментальные значения параметров шлифования

t , мм	0,1	0,15	0,45
t_{ϕ} , мм	0,019	0,036	0,145
Q , мм ³ /с	206,32	390,93	1574,7
t / t_{ϕ}	5,2	4,1	3,1
B_1	4,2	3,1	2,1
ε	1,31	1,47	1,9
q , мм ³ абразива / мм ³ материала	0,4	0,5	4

С целью определения минимально возможной энергоемкости обработки $\sigma = N_{\text{эф}} / Q$ в реальном процессе шлифования был проведен эксперимент с глубиной шлифования $t = 1$ мм; $V_{\text{кр}} = 30$ м/с; $V_{\text{дет}} = 7,5$ м/мин; $S_{\text{прод}} = 41,5$ мм/мин. Экспериментально установлено, что эффективная мощность шлифования равна $N_{\text{эф}} = 16,5$ кВт, отношение $t / t_{\phi} = 3$, а фактическая производительность обработки – $Q = 2625$ мм³/с. Тогда $\sigma = 6286$ МПа. Это фактически соответствует значе-

ниям энергоемкости обработки σ (условного напряжения резания), полученным Рыбицким В.А. [5] при микрорезании единичным зерном (рис. 4). Полученные результаты свидетельствуют о том, что в общем энергетическом балансе процесса шлифования кругом ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВF наплавленного материала Пл-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) преобладает доля энергии резания, а доля трения связки круга с материалом незначительна в связи с высокой режущей способностью шлифовального круга, работающего в режиме самозатачивания.

Таким образом показано, что за счет обеспечения работы абразивного круга в режиме интенсивного самозатачивания практически исключаются потери энергии шлифования, связанные с трением связки круга с обрабатываемым материалом. В резании участвуют практически только абразивные зерна. Это позволяет в максимальной степени использовать режущие свойства круга и максимально увеличить уточнение ε (для данных значений D_{dem} и c). Установлено, что уточнение ε при шлифовании по данной схеме увеличивается и принимает значения 1,31...1,9 (табл. 1). Эти значения значительно выше значений уточнений, установленных на основе действующего технологического процесса шлифования, которые не превышают $\varepsilon = 1,032$.

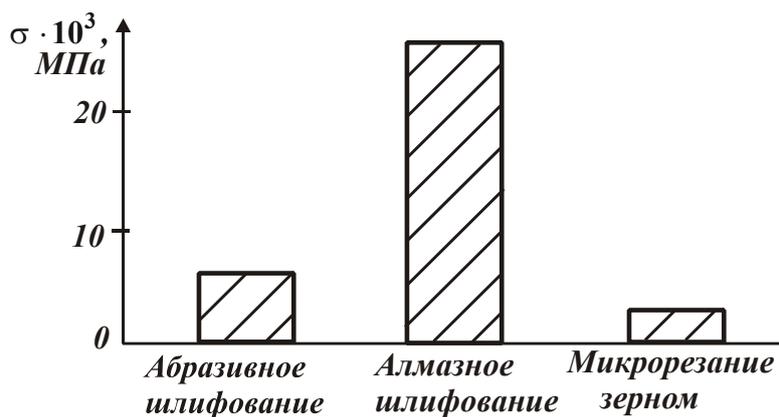


Рис. 4 – Значения энергоемкости обработки σ

Кроме того, уменьшение энергоемкости обработки σ до минимально возможного значения, обусловленного участием в резании лишь абразивных зерен, создает объективные предпосылки повышения качества обработки за счет снижения тепловой напряженности процесса и исключения образования на обрабатываемых поверхностях различного рода температурных дефектов (прижогов и микротрещин). Однако такой режим работы круга приводит к его интенсивному износу.

В связи с этим нами проводились экспериментальные исследования удельного износа круга q , равного отношению объема изношенной части круга к объему снятого материала. При этом определялся объем снятого материала абразивным кругом до его полного износа. Установлено, что для условий обработки при шлифовании кругом ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВF данный пара-

метр принимает достаточно большие значения – $0,5 \dots 4 \text{ мм}^3 \text{ абразива/мм}^3 \text{ материала}$ (табл. 1).

При шлифовании других материалов (по экспериментальным данным проф. Филимонова Л.Н. [6]) удельный износ круга q меньше и лишь при шлифовании твердых сплавов превышает его (рис. 5). Это указывает на то, что рассматриваемые наплавленные материалы принадлежат к классу труднообрабатываемых материалов.

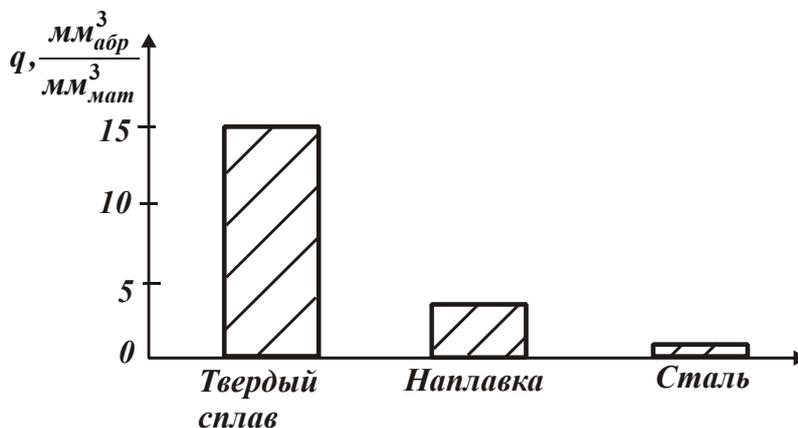


Рис. 5 – Значения удельного износа круга q

Экспериментально установлено, что с увеличением номинальной глубины шлифования t удельный износ круга q увеличивается и при $t=0,45 \text{ мм}$ принимает достаточно большое значение $q=4$ ($\text{мм}^3 \text{ абразива/мм}^3 \text{ материала}$). Осуществление процесса шлифования с такой интенсивностью износа круга экономически нецелесообразно. Экономически обоснованными являются значения $q=0,5 \dots 1$ ($\text{мм}^3 \text{ абразива/мм}^3 \text{ материала}$), т.е. с этой точки зрения шлифование эффективно осуществлять с $t=0,1 \dots 0,15 \text{ мм}$. Так, установлено, что при шлифовании с $t=0,15 \text{ мм}$ одного конуса диаметром 5000 мм расходуется до 8 абразивных кругов. При этом размерный износ круга за его один продольный ход составляет до 1 мм . Это значительно превышает глубину шлифования и указывает на необходимость ее постоянного регулирования в процессе обработки. Компенсировать размерный износ абразивного круга можно за счет осуществления непрерывной или дискретной радиальной подачи в пределах одного продольного хода круга. Интенсивный износ круга, с одной стороны, увеличивает затраты на приобретение кругов, а с другой стороны, позволяет поддерживать его высокую режущую способность.

Следовательно, повышенный размерный износ круга способствует снижению интенсивности трения связи с кругом и энергоемкости обработки. Причем, применение абразивных кругов большей зернистости: $16 - 18$ (по FEPA размер зерна $1,6 - 1,2 \text{ мм}$ соответственно) позволяет еще в большей степени уменьшить энергоемкость обработки. В результате на обрабатываемых поверхностях не образуются прижоги и происходит устранение неравномерности снимаемого припуска на операции предварительного шлифования, что снижает

трудоемкость окончательного шлифования (которое по длительности такое же, как и предварительное шлифование) с обеспечением требований по точности обработки. Общая трудоемкость обработки снижается в 2 раза. Шероховатость поверхности при предварительном шлифовании составляет $R_a=1,2\dots 1,7$ мм, при окончательном шлифовании – $R_a=0,6\dots 0,8$ мм.

Проводились также экспериментальные исследования алмазного электроэрозионного шлифования наплавочных материалов. Установлено, что, несмотря на интенсивное электроэрозионное воздействие на рабочую поверхность алмазного круга на металлической связке, происходит его засаливание, в результате чего энергоемкость обработки σ почти на порядок выше, чем при абразивном шлифовании (рис. 4). Поэтому процесс шлифования в таких условиях малоэффективен, более предпочтительно применение схемы абразивного круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе, реализуемой путем применения глубинного продольного шлифования с $S_d < 0,1$ и увеличенной скоростью детали $V_{дет} = 50\dots 120$ м/мин ($t=0,1\dots 0,2$ мм; $S_{прод} < 42$ мм/мин).

Выводы. В работе проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований круглого шлифования рабочих контактных поверхностей с износостойкими наплавленными поверхностями конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей. Предложена схема абразивного круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе, которая по сравнению с обычным круглым многопроходным продольным шлифованием по жесткой схеме (осуществляемым с небольшими глубинами шлифования $t=0,01\dots 0,02$ мм на токарно-карусельном станке в производственных условиях) позволяет обеспечить требуемое качество обработки и увеличить производительность. Установлено, что основным резервом эффективного применения данной схемы шлифования в производственных условиях является увеличение жесткости системы, поскольку за счет применения крупнозернистого абразивного круга ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВФ на бакелитовой связке (усиленной стекловолокном) все резервы, связанные с уменьшением энергоемкости обработки и повышением качества и производительности, фактически использованы.

Список литературы: 1. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – К.: Наук. думка, 1994. – 180 с. 2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... кандидата техн. наук: 05.02.08 / Новиков Григорий Васильевич. – Харьков, 1989. – 210 с. 3. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий. – К.: Общество "Знание" УССР, 1987. – 23 с. 4. Новиков Ф.В. Обоснование оптимальной кинематической схемы круглого шлифования по критериям качества и производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харьков: НТУСГ, 2010. – Вип. 106. – С. 52-67. 5. Рыбицкий В.А. Силовые зависимости и обрабатываемость износостойких материалов при микрорезании единичным алмазным зерном / В.А. Рыбицкий // Физические и компьютерные технологии: Труды 5-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2002. – С. 57-61. 6. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Л.Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 245 с.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫЕ ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ "DOOSAN"

Жовтобрюх В.А., канд. техн. наук

(Технический Центр "ВариУс", Днепр, Украина)

Бобух К.А. (ООО "ВариТек", Днепр, Украина)

Dooyoung Jeong (Doosan Infracore, Южная Корея)

В работе дана техническая характеристика многофункциональных токарно-фрезерных обрабатывающих центров "DOOSAN".

Ключевые слова: станкостроение, многофункциональные токарно-фрезерные обрабатывающие центры, обработка крупногабаритных деталей.

В роботі дана технічна характеристика багатофункціональних токарно-фрезерних обробних центрів "DOOSAN".

Ключові слова: верстатобудування, багатофункціональні токарно-фрезерні обробні центри, обробка великогабаритних деталей.

In the given technical characteristics of multifunctional turning-milling centers "DOOSAN".

Keywords: machine tools, multifunctional turning-milling machine tools, machining of large parts.

Международный концерн "DOOSAN Infracore Machine Tools" является ведущим станкостроителем в Южной Корее и одним из пяти ведущих производителей станков в мире. Оборудование "DOOSAN" - это целый мир токарных и фрезерных обрабатывающих центров различной степени сложности для решения практически любых технологических задач.

Производственная программа составляет более 10 000 станков в год и включает в себя многоосевые токарные и токарно-фрезерные станки с ЧПУ, прутковые автоматы, вертикальные и горизонтальные обрабатывающие центры, станки для обработки колёсных дисков, сверлильно-расточные станки, порталные обрабатывающие центры для 5-сторонней обработки крупногабаритных деталей.

Продукция "DOOSAN" - это также уникальные решения для автоматизации сложных производственных процессов, включая оснастку, разработанную специально для обработки необходимой детали Заказчика, выбор оптимального инструмента и технологии обработки с целью минимизации затрат на производство.

Благодаря исследовательскому центру "R&D" (Research and Development), штат которого насчитывает 300 высококвалифицированных инженеров, компания "DOOSAN" производит оборудование, уверенно выдерживающее конкуренцию с японскими и немецкими производителями. Более 50% производимых станков реализуется на требовательном рынке Европы. Ежегодно ассортимент выпускаемых станков пополняется новыми моделями и опциями – в соответствии с рыночными тенденциями и требованиями потребителей.

Одна из новинок 2009 года – многофункциональный токарно-фрезерный обрабатывающий центр PUMA MX 2600ST (рис.1), который воплотил в себе все преимущества токарного и фрезерного обрабатывающих центров.



Рис. 1 – Многофункциональный токарно-фрезерный обрабатывающий центр PUMA MX 2600ST

Следующие характеристики делают эту модель лидером в своём классе:

- станина с углом наклона направляющих 60° - для максимально эффективного отвода стружки в условиях максимальной производительности (рис.2);
- два высокомо мощных токарных шпинделя (22 кВт / 700 Нм), оснащённых двигателями типа "Built-in" (встроенные в главный шпиндель и контршпиндель);
- автоматический магазин инструмента для фрезерного шпинделя на 40 позиций (в стандартной комплектации) опционально может быть увеличен до 80 позиций;
- двигатель фрезерного шпинделя типа "Built-in" (встроенный в поворотную фрезерную головку) с мощностью 18,5 кВт и увеличенной максимальной скоростью до 12000 об/мин позволяет выполнять фрезерные операции любой сложности, что обеспечивается поворотом фрезерной головки на 120° и увеличенным перемещением по оси Y до 115мм;
- токарно-револьверная головка с возможностью установки приводного фрезерного инструмента.

Одна из интересных особенностей конструкции этой модели - отсутствие передаточной трансмиссии шпинделей. Модель PUMA MX 2600ST оснащена современными мотор-шпинделями типа "Built-in" (встроенные непосредственно в шпиндельный узел). Отсутствие ременного привода позволяет не только выиграть в КПД и в отсутствии вибраций шпинделя, но также обеспечивает более

длительный срок эксплуатации шпинделя в условиях непрерывного графика эксплуатации. Для повышения термической стабильности левый и правый шпиндели оснащены системой масляного охлаждения.



Рис. 2 – Станина PUMA MX 2600ST с углом наклона направляющих 60°

Всё это в комплексе с возможностью оснащения ОЦ системами загрузки/выгрузки "*Gantry loader*" (портального типа) и "*Bar feeder*" (подача прутка), делает возможным осуществление полной 6-сторонней обработки тел вращения (рис.3) в полностью автоматическом режиме, с непревзойдённой производительностью и высочайшей точностью обработанных деталей.

Для обеспечения прецизионной точности обрабатываемых деталей в условиях массового производства (непрерывный график работы оборудования, коэффициент использования оборудования 0,9-0,95, повышенные режимы резания, частые переходы от черновой обработки к чистовой) модели серии PUMA MX оснащаются системами обратной связи с датчиками линейных перемещений (измерительными линейками) "HEIDENHAIN" (Германия). При этом кинематические и термические изменения, а также влияние нагрузки в процессе обработки определяются линейными датчиками и учитываются в контуре управления, что позволяет достигать высочайшей точности позиционирования станка: до 3 мкм.

Для специфических задач, например, при обработке деталей типа "вал" малых диаметров с максимальной длиной (до 1500мм), модели серии PUMA MX оснащаются полностью программируемым гидравлическим люнетом (с независимым серводвигателем по оси Z2).

Более подробно о технических характеристиках, опциях и областях применения оборудования "DOOSAN" Вы можете узнать на веб-сайте компании ООО "ВариТек" (г. Днепр), которая является эксклюзивным дистрибьютором на территории Украины.

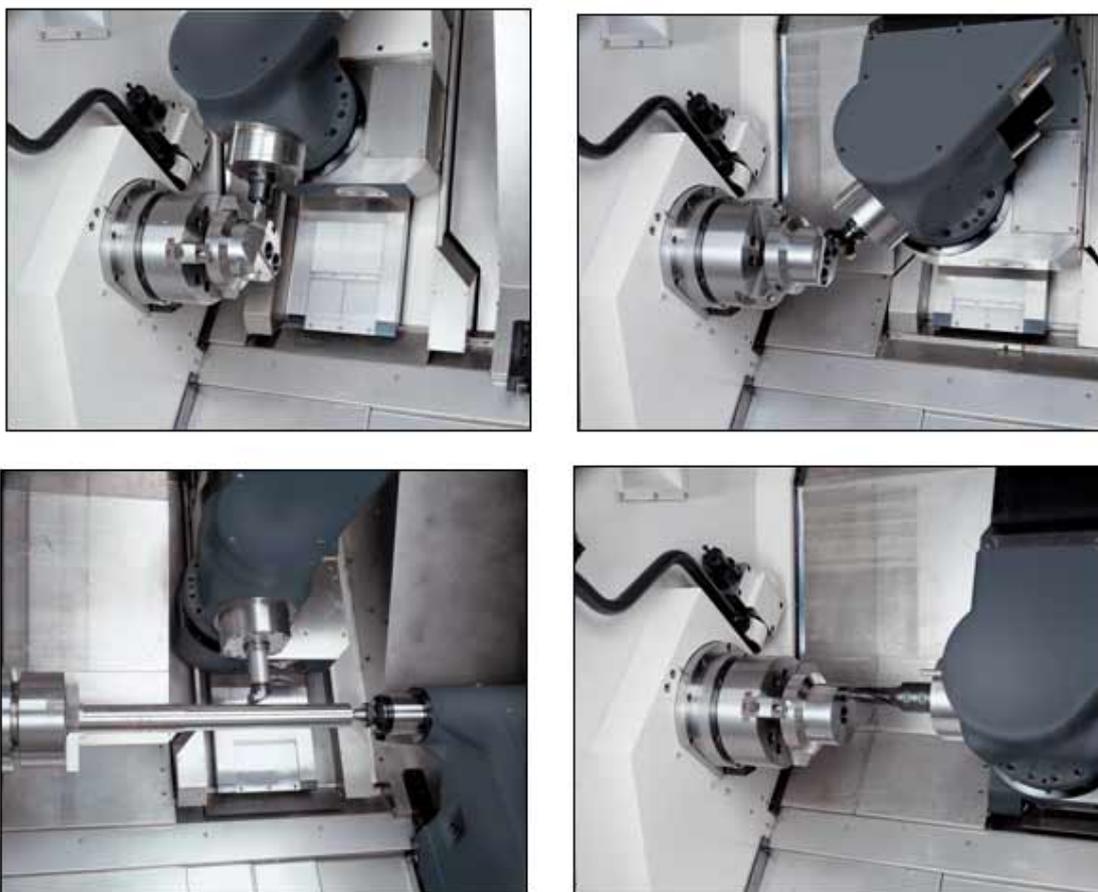


Рис. 3 – Варианты обработки деталей на PUMA MX 2600ST

Кроме сервисного обслуживания в гарантийный и послегарантийный период, компания ООО "ВариТек" (г. Днепр) предлагает Вам:

- подготовку технологии производства, начиная от Вашего чертежа детали, - для правильного выбора оборудования;
- совместную работу технологов Вашего предприятия с технологами и программистами ООО "ВариТек";
- выбор необходимой для Вашей задачи оснастки и участие в её поставке или изготовлении;
- комплектацию инструментом и подбор режимов резания в соответствии с планируемой программой выпуска изделий;
- участие нашего технического персонала в отладке технологии обработки во время и после ввода станка в эксплуатацию.

Список литературы: 1. *Жовтобрюх В.А.* Повышение эффективности механической обработки деталей гидравлических систем путем выбора рациональных параметров операций по критерию себестоимости: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 "Технология машиностроения" / *В.А. Жовтобрюх.* – Мариуполь, 2012. – 21с.

НАПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Жовтобрюх В.А., канд. техн. наук
(Технический Центр “ВариУс”, Днепр, Украина)

Даны практические рекомендации по выбору прогрессивных инструментальных материалов и оптимальных режимов резания при высокоскоростной обработке на станках с ЧПУ. Приведены характеристики новых инструментальных материалов и геометрических форм режущих пластин из керамических сплавов с износостойкими покрытиями, а также результаты исследований высокоскоростного точения инструментами из керамики термобработанных материалов, чугунов, жаропрочных материалов.

Ключевые слова: режущие пластины, инструментальные материалы, керамические сплавы, оптимальные режимы резания, высокоскоростная обработка

Надано практичні рекомендації щодо вибору прогресивних інструментальних матеріалів та оптимальних режимів різання при високошвидкісній обробці на верстатах з ЧПУ. Наведено характеристики нових інструментальних матеріалів і геометричних форм різальних пластин із керамічних сплавів зі зносостійкими покриттями, а також результати досліджень високошвидкісного точіння інструментами з кераміки термооброблених матеріалів, чавунів, жароміцних матеріалів.

Ключові слова: різальні пластини, інструментальні матеріали, керамічні сплави, оптимальні режими різання, високошвидкісна обробка

Practical recommendations on the choice of the progressive tool materials and optimum cutting conditions for high-speed machining with CNC machines. The characteristics of the new tool materials and geometries of cutting inserts of ceramic alloy with wear-resistant coatings, as well as the results of studies of high-speed turning tools of ceramic heat-treated materials, cast iron, heat-resistant materials.

Keywords: inserts, tool materials, ceramic alloys, the optimal cutting conditions, a high-speed processing

Применение современных сборных металлорежущих инструментов и станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр» открыли новые технологические возможности механической обработки деталей машин, эффективного применения высокоскоростного резания, обеспечивающего повышение производительности и качества [1–5].

Практикой установлено, что современные режущие пластины из керамики в условиях правильной эксплуатации являются эффективным средством для достижения высокой производительности по сравнению с твердосплавными пластинами.

Керамические сплавы характеризуются высокой твердостью и значительной сопротивляемостью к окислению по сравнению с другими инструментальными материалами, а также высокой стойкостью к образованию трещин и ударной прочностью при температуре выше 1000 градусов. Однако, они достаточно ломки при комнатной температуре. Механические и температурные свойства различных инструментальных материалов показаны в табл. 1.

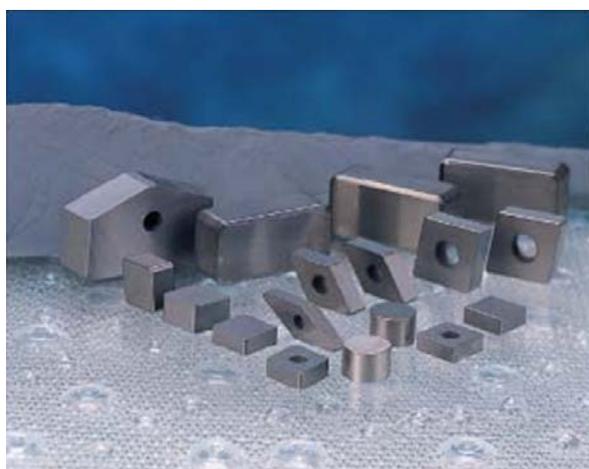
Механические и температурные свойства материалов

	Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄	PCBN	PCD	PCD Hardmetal
Плотность, г/см ³	4,0	3,2	3,4	3,5	14,9
Твердость, HV	1,900	1,700	3,700	7,000	1,400
Ударная вязкость, МПа/м ²	3	6	5	5	12
Теплопроводность, Wm-1/K ⁻¹	30	40	100	120	100
Температура окисления, °C	>2,000	1,300	1,200	650	500

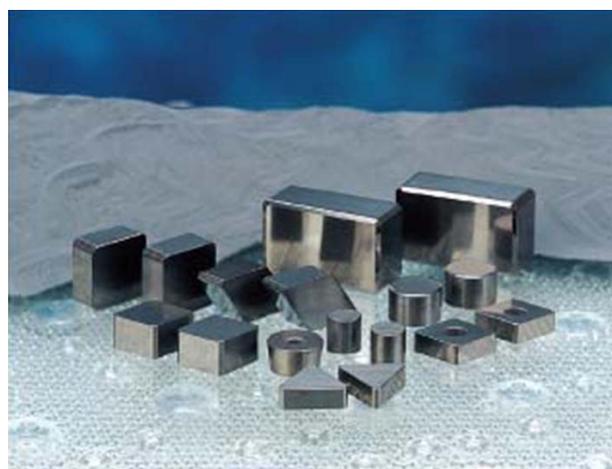
Алюмооксидная керамика (Al₂O₃) характеризуется значительной сопротивляемостью к окислению и высокой устойчивостью в условиях высокоскоростного непрерывного точения материалов на основе железа. Нитрид кремния (Si₃N₄) имеет высокую устойчивость к образованию трещин и значительную сопротивляемость к окислению. Это обеспечивает повышение эффективности черновой обработки материалов на основе железа.

Практикой установлено, что режущие керамические пластины следует применять для обработки материалов после их закалки. Например, в условиях непрерывного точения чугуна и предварительной термообработки материалов рекомендуется использовать режущие керамические пластины на основе оксида алюминия. Режущие пластины на основе нитрида кремния показывают лучшие результаты в условиях черновой обработки чугуна и высокоскоростной обработки жаропрочных материалов на основе никеля.

Режущие керамические пластины на основе оксида алюминия эффективно применять для высокоскоростной обработки закаленной стали благодаря значительной сопротивляемости к окислению и температурной стабильности. Компания TaeguTec (Южная Корея) разработала несколько видов таких керамических сплавов. Так, режущие пластины из керамического сплава АВ30 (рис. 1,а) применяют для точения углеродистых и низколегированных сталей, а режущие пластины из керамического сплава АВ20 (рис. 1,б) - для высоколегированных материалов и сталей с высокой твердостью.



а



б

Рис. 1 – Режущие пластины из керамического сплава АВ30 (а) и АВ20 (б)

Режущие пластины из керамического сплава ТВ650 (CBN) рекомендуется использовать для обработки только закаленных сталей. На диаграмме (рис. 2) схематически показана область применения рассмотренных режущих пластин из керамических сплавов в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости. Например, благодаря высокой твердости и стойкости к окислению сплав АВ20 эффективнее применять для механообработки сверхтвердых материалов типа CrMoNi и инструментальных сталей.

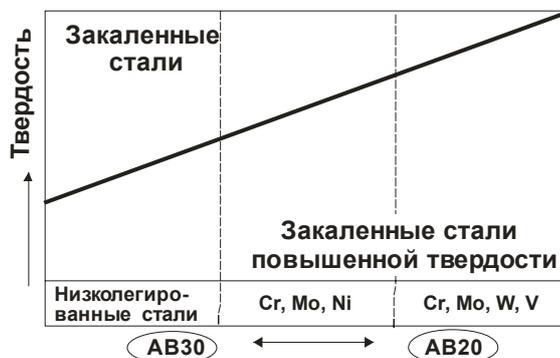


Рис. 2 – Области применения режущих пластин из керамических сплавов в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости

Установлено, что наиболее эффективным решением проблемы высокоскоростной обработки чугуна является применение режущих керамических пластин благодаря их высокой твердости и средней вязкости. Режущие пластины из керамического сплава с чистого оксида алюминия АW20 (рис. 3,а) эффективнее применять в условиях высокоскоростной обработки чугунных деталей типа цилиндр.

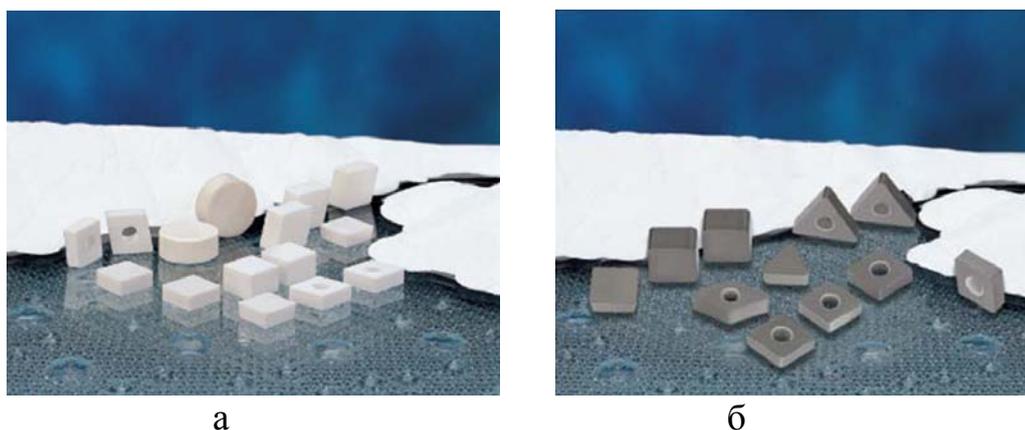


Рис. 3 – Режущие пластины из керамического сплава из чистого оксида алюминия АW20 (а) и на основе нитрида кремния (AS500 и AS10) (б)

Характеризуясь значительной устойчивостью к окислению и температурной стабильности, керамический сплав из чистого оксида алюминия АW20 значительно превосходит по физико-механическим свойствам аналогичные сплавы, которые конкурируют с ним. Керамический сплав на основе нитрида кремния (AS500 и AS10 (рис. 3,б)) имеет чрезвычайно высокую сопротивляемость к выкрашиванию и умеренную жесткость.

Поэтому режущие пластины из данных керамических сплавов рекомендуют использовать для черновых операций токарной обработки деталей из чугуна. Например, для обработки таких деталей, как чугунный автомобильный диск, а также для фрезерования блока цилиндров.

Высокопроизводительную обработку жаропрочных сталей, а также материалов на основе никеля лучше всего осуществлять керамическими пластинами. Данный тип материалов является труднообрабатываемым, его традиционно применяют в аэрокосмической отрасли. Поэтому режущие пластины из керамики на основе нитрида кремния (AS20) рекомендуется использовать для высокоскоростной обработки точением и фрезерованием сплава Инконель 718, который обладает высокой устойчивостью к выкрашиванию и умеренной температурной стабильностью.

В чем же заключаются преимущества от использования режущих пластин из керамических сплавов, разработанных в фирме TaeguTec?

Главное преимущество режущих пластин из керамических сплавов заключается в том, что они обеспечивают чрезвычайно высокую производительность и значительно сокращают расходы на инструмент по сравнению с твердосплавными пластинами.

Как отмечалось выше, по физико-механическим свойствам керамические сплавы значительно превосходят твердые сплавы в случае правильного их применения. Физические характеристики режущих пластин из керамических сплавов, изготавливаемых фирмой TaeguTec, представлены в табл. 2.

Таблица 2

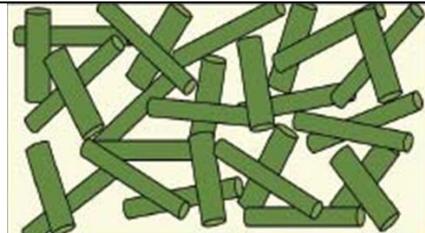
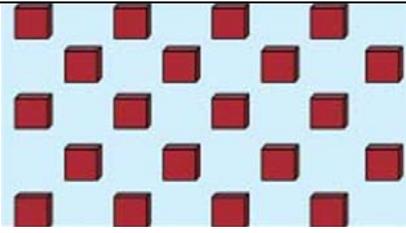
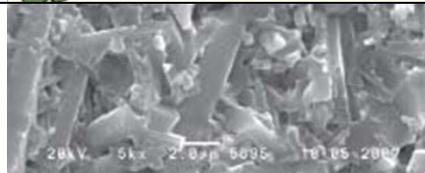
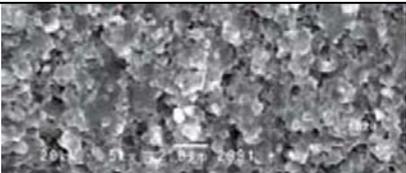
Физические свойства керамических металлорежущих сплавов, изготавливаемых фирмой TaeguTec

Сплав	AW20	AB20	AB30	AS500	AS10
Состав	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ ·TiC	SiAlON	Si ₃ N ₄
Щільність	4,1	4,3	4,2	3,2	3,2
Твердість HRA (GPa)	93,8 (1,8)	94,5 (2,1)	94,5 (2,1)	93,9 (1,8)	93,7 (1,6)
Kc (MPa/m ^{1/2})	3,0	3,2	3,5	5,5	6,0

Как видно, керамические сплавы на основе нитрида кремния (AS10 и AS500) имеют высокую устойчивость к выкрашиванию по отношению к материалам на основе оксида алюминия, которые показывают более высокую твердость. Сравнение сплавов на основе нитрида кремния и оксида алюминия можно выполнить на основе табл. 3. Исходя из продолговатой микроструктуры, можно сделать вывод, что нитрид кремния более вязкий, чем оксид алюминия. В то же время оксид алюминия является более твердым материалом из-за жесткой мелкозернистой структуры. Поэтому рекомендуется сплав AS10 (или AS500) использовать для черновой обработки чугунов, а сплавы AW20, AB20 и AB30 - для непрерывного точения на высоких скоростях.

Таблица 3

Состав керамических пластин на основе оксида алюминия и нитрида кремния

Сплав		AS500 (нитрид кремния)	AW20 (оксид алюминия)
Состав	Основа	Si_3N_4	Al_2O_3
	Добавки	Al_2O_3 или окисел	Ti, Ti и др.
Стойкость к выкрашиванию		5 – 7	3 – 4
Твердость HV		1600 – 1900	1800 – 2100
Схематичная диаграмма и микроструктура			
			

Опыт эффективного использования режущих керамических пластин.

Первоначально следует рассмотреть высокоскоростное точения цилиндров. Экспериментально установлено, что наиболее эффективно обработку цилиндров осуществлять с применением режущих керамических пластин на основе сплава AW20 (AW1030), которые характеризуются высокой устойчивостью по отношению к пластинам и которые изготовлены из других сплавов и обеспечивают высокое качество обработанных поверхностей. Это следует, например, из рис. 4. Так, стойкость режущих керамических пластин на основе сплава AW1030 вдвое превышает стойкость пластины-конкурента (A1). Режущая пластина из керамического сплава AW1030 состоит из чистых оксидов с PVD TiAl покрытием и со специально подготовленной кромкой, за счет чего достигается высокая устойчивость пластины.

Рассмотрим условия повышения эффективности процесса точения диска. В процессе высокоскоростного точения чугуновых дисков целесообразно использовать режущие пластины из керамического сплава AS500. Этот сплав имеет высокую твердость и высокую устойчивость к выкрашиванию благодаря специальному дизайну и новой технологии изготовления. Надежность этого сплава подтверждена большим количеством производственных испытаний во всем мире.

На рис. 4 показаны керамические пластины после точения дисков. Установлено, что режущие пластины из керамического сплава AS500 имеют устойчивость на 30% выше, чем ближайшие по качеству пластины-конкуренты с подобным составом сплава. Благодаря сочетанию двойной альфа / бета-фазы сплава SiAlON и кристаллической связи достигается высокая стойкость режу-

шего инструмента из керамики. Альфа-фаза сплава SiAlON обеспечивает высокую износостойкость, а бета-фаза увеличивает устойчивость к выкрашиванию. В сумме эти свойства обеспечивают высокую производительность по сравнению с любыми конкурентами на операции точения диска.

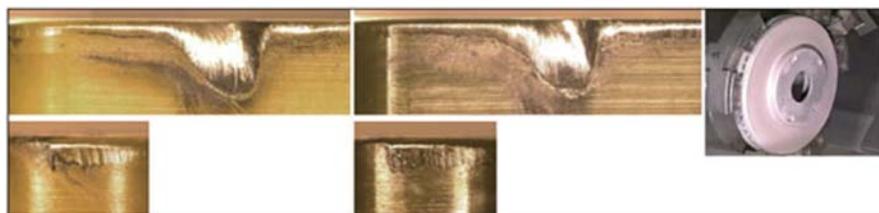


Рис. 4 – Образец износа керамических пластин на основе SiAlON после обработки 150 деталей из сплава AS500 (а); после обработки 100 деталей из сплава B1 (конкурент). Условия обработки: диск 15"; $V = 600$ м/мин; $f = 0,65$ мм/об.; $ap = 2-3$ мм, без охлаждающей жидкости. Пластина SNGX 150716 T7-CN.

Рассмотрим условия повышения эффективности процесса обработки валков, изготовленных из стали. Практикой установлено, что режущие керамические пластины могут эффективно использоваться на операциях чернового точения валков, изготовленных на основе железа высокой твердости, особенно из быстрорежущей, высокохромистых или никельсодержащих сталей. Режущие пластины из керамического сплава AS500 (TaeguTec) рекомендуется использовать для чернового точения, а из керамического сплава AB20 - для чистовой обработки чрезвычайно твердых валков. Пример чернового точения валков показан на рис. 5.

Как видно, стойкость режущих пластин из керамического сплава AS500 на 40% выше стойкости сплава-конкурента на основе Si. На рис. 6 показаны результаты испытания режущих пластин на операциях чистового точения. В данном случае керамический сплав AB20 имеет высокую стойкость на финишных операциях обработки быстрорежущих валков.

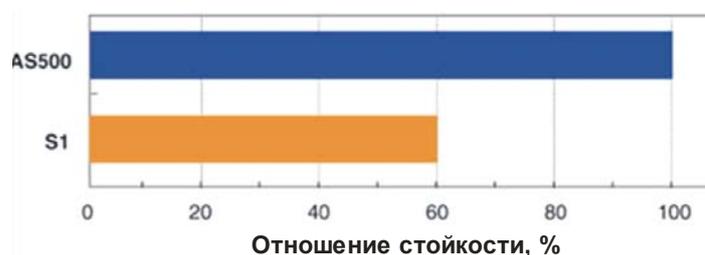


Рис. 5 – Черновое точение валков (HS50): $\varnothing 313$ мм; $V = 50$ м/мин; $f = 0,5$ мм/об.; глубина резания 26 мм; без охлаждающей жидкости.

Пластина LNU6688T, AS500 (TaeguTec), S1 (Конкурент).

Подводя итоги, следует отметить, что компания TaeguTec производит уникальные и высококачественные металлорежущие керамические пластины для различных операций обработки, например таких, как высокоскоростное то-

чения блоков цилиндров, обработка большими пластинами твердосплавных валков и др.

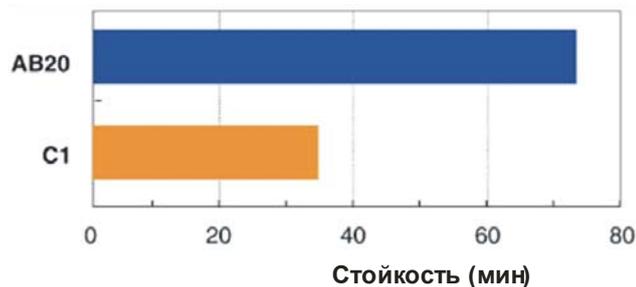


Рис. 6 – Чистовое точение быстрорежущей стали (HS85): $\varnothing 610$ мм; $V = 48$ м/мин; $f = 0,32$ мм/об.; глубина резания 4,3 мм; без охлаждающей жидкости. Пластина T11-3219, АВ (TaeguTec), С1 (Конкурент).

Керамический сплав на основе SiAlON AS500 является новейшей разработкой для высокоскоростного точения чугуновых дисков, бандажей подшипников и черного точения железосодержащих валков, а PVD-Сплав AW11030 является наиболее эффективным для непрерывного точения серого чугуна. Сплав PVD АВ2010 обеспечивает высокую стойкость инструмента на операциях скоростного точения закаленных сталей.

Выводы. Приведены характеристики новых инструментальных материалов и новых геометрических форм режущих пластин, изготовленных из керамических сплавов с износостойкими покрытиями, а также результаты исследований высокоскоростного точения инструментами из керамики термообработанных материалов, чугунов, жаропрочных материалов. Обобщен опыт эффективного применения режущих керамических пластин для обработки точением диска, стальных валков и др. Применение приведенных практических рекомендаций позволит повысить эффективность разработки технологических процессов обработки деталей гидравлических систем на основе применения высокоскоростного резания.

Список литературы: 1. Завалеев В. А. Использование способа КИНТ для упрочнения инструмента / В. А. Завалеев, А. А. Романов // Вісник Харківського державного університету сільського господарства. – Харків : ХДУСГ, 2002. – Вып. 10. – С. 180–186. 2. Новіков Ф. В. Теорія високоякісної обробки деталей машин : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2013. – 384 с. 3. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец и др.; под общей редакцией С. А. Клименко. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с. 4. Жовтобрюх В. А. Разработка и внедрение эффективных технологических процессов механической обработки / В. А. Жовтобрюх // Сучасні системи технологій у машинобудуванні. Збірник наукових праць, присвячений 90-річчю з дня народження професора Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ) Якимова О.В. – Д.: ЛІРА, 2015. – С. 92–105. 5. Жовтобрюх В. О. Розробка ефективних технологій високошвидкісної механічної обробки деталей гідравлічних систем / В. О. Жовтобрюх, Ф. В. Новіков // Труды 19-й Международной научно-практической конференции “Физические и компьютерные технологии”. – Харьков : ГП ХМЗ “ФЭД”, 2014. – С. 66–75.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРЕССИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК

Жовтобрюх В.А., канд. техн. наук
(Технический Центр “ВариУс”, Днепр, Украина)

Приведено описание разработанной и внедренной в производство прогрессивной технологии механической обработки турбинных лопаток.

Ключевые слова: турбинная лопатка, механическая обработка, обрабатывающий центр, управляющая программа, серия фрез и пластин

Наведено опис розробленої та впровадженої у виробництво прогресивної технології механічної обробки турбінних лопаток.

Ключові слова: турбінна лопатка, механічна обробка, обробний центр, що управляє програма, серія фрез і пластин

The description of the developed and implemented in the production of advanced technology machining of turbine blades.

Keywords: turbine blade, machining, machining center, a control program, a series of cutters and inserts

Специалисты компании ТАЕГУТЕК УКРАИНА совместно с партнерами продолжают успешно реализовывать производственные задачи для флагманов украинской промышленности. Комплексный профессиональный подход технологического отдела компании – это эффективные решения и полное сопровождение процесса производства, начиная с момента получения чертежа. Блестящим примером такой технической поддержки является внедренный на крупном промышленном предприятии проект по обработке турбинных лопаток (рис. 1), благодаря которому были оптимизированы затраты на переоснащение станочного парка и на 50% увеличена производительность.

Деталь «Газотурбинная лопатка» является весьма ответственным элементом в аэрокосмической отрасли, обработка которого отличается жесткими требованиями по допускам и шероховатости поверхности. Согласно действующей технологии, обработка заготовки для турбинных лопаток сложной геометрии производится на устаревших электроэрозионных станках. Материал заготовки – труднообрабатываемая нержавеющая сталь 08X18H10T (рис. 2).

В связи с этим поставлена задача разработки и внедрения технологии механической обработки турбинных лопаток, сокращения инвестиций на модернизацию станочного парка производственного участка и оптимизации времени обработки без потерь производительности на предприятии. Решением задачи стала разработка технологии обработки детали «за две установки», т.е. ее поочередная обработка с каждой стороны. Обработку предложено производить на станке ФОЦ DNM400 южнокорейского производителя DOOSAN (рис. 3).

Высокопроизводительное оборудование DOOSAN DNM400, обладая высокой точностью обработки (позиционирование 5 мкм, повторяемость 2 мкм)

успешно решает задачу изготовления турбинных лопаток с учетом требований по допускам и шероховатости поверхности изделия.



Рис. 1 – Газотурбинная лопатка



Рис. 2 – Заготовка газотурбинной лопатки



Рис. 3 – Станок DOOSAN DNM400

С одной стороны, предложенный метод не требовал технически сложной оснастки, тем не менее, переустановка детали могла снизить точность обработки. Кроме того, такая технология усложнялась разработкой и изготовлением специальных зажимных приспособлений. С другой стороны, полное изготовление детали «за одну установку» предполагает приобретение 5-ти осевого фрезерного станка, что ведет к удорожанию проекта.

После проведенных расчетов и анализа показателей стоимости рассматриваемого оборудования и эффективности соответствующих технологий, специалисты компании ТАЕГУТЕК УКРАИНА остановились на варианте обработки лопатки при помощи 3-х осевого вертикального обрабатывающего центра DOOSAN DNM400.

Данное оборудование с поворотным столом и дополнительной осью обеспечило возможность изготовления требуемой детали за одну установку, позволив сократить машинное время на переустановку заготовки. Выбранная концепция подтвердила свою экономическую целесообразность, а также значительно превысила ожидания заказчика по требованиям к обработке.

Реализация проекта и результат. Предложенный метод был апробирован на тестовой детали, качество которой, а также точность соблюдения всех геометрических размеров, значительно превзошли старую технологию, дав заказчику «зеленый свет» для полноценного внедрения проекта.

Следующим шагом в рамках предложенной технологии стала полная обработка лопатки за один установ, включая прикорневые радиусы. Прежний метод и устаревшее оборудование не обеспечивали такой результат, т.к. требовали дополнительной дорогостоящей доработки вручную.

Благодаря комплексному подходу компании ТАЕГУТЕК УКРАИНА, реализованный проект увеличил производительность участка на 50%. Такой эффект привел к сокращению инвестиций на модернизацию станочного парка – для выполнения требуемой программы заказчик приобрел 12 обрабатывающих центров DOOSAN (вместо 20 обрабатывающих центров, заложенных в первоначальный бюджет).



Рис. 4 – Готовая деталь «Лопатка»

Дальнейшим развитием проекта «Обработка турбинных лопаток» стало приобретение 10 станков DOOSAN аналогичного класса, выполнение соответствующих пуско-наладочных операций и загрузки управляющих программ. Как результат, предприятие наладило серийный выпуск лопаток из нержавеющей стали уже через два года с момента обработки тестовой детали (рис. 4).

Последующей поддержкой данного предприятия стало предоставление следующих услуг:

- усовершенствование управляющей программы на всю номенклатуру выпускаемых лопаток;
- обновление режущего инструмента, и, как следствие, дополнительное сокращение машинного времени на 15% за счет упрощенной перенастройки оборудования;
- соответствующая подготовка операторов производственного участка в процессе проведения ПНР, что позволило расширить навыки подготовки и привязки требуемого режущего инструмента;
- своевременные профессиональные консультации сервисного Центра DOOSAN и ОГТ компании ТАЕГУТЕК УКРАИНА.



Рис. 5 – Серия фрез и пластин ChaseFeed

Каждый реализованный проект – это не только реальная история успеха и развитие украинского машиностроения, но и стимул для ТАЕГУТЕК УКРАИНА улучшать и внедрять новые технологии на базе постоянно обновляющегося инструмента компании ТАЕГУТЕК (Южная Корея). Так, на сегодняшний момент рекомендованным решением для черновой

обработки лопаток являются концевые фрезы с механическим креплением пластин. Благодаря более низкой стоимости, по сравнению с монолитными твердосплавными фрезами, инструмент со сменными насадками обеспечивает максимальную производительность и снижение затрат именно для такого класса задач. И в данном случае, лучшим выбором станет высокопроизводительная серия фрез и пластин [ChaseFeed](#) (рис. 5). Серия фрез и пластин ChaseFeed специально разработана для эффективной черновой обработки, а дополнившая серию новая пластина SBMT обеспечивает лучшую производительность на высоких скоростях подачи при небольшой глубине резания.

Список литературы: 1. Жовтобрюх В.А. Эффективное применение режущих инструментов в условиях высокоскоростной обработки / В.А. Жовтобрюх // Физические и компьютерные технологии : труды 21-й междунар. научн.-практ. конф. – Д.: ЛИРА, 2016. – С. 22-25.

ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Клименко С. А., докт. техн. наук, проф., **Клименко С. Ан.**, канд. техн. наук, **Манохин А. С.**, канд. техн. наук, **Копейкина М.Ю.**, канд. техн. наук, с.н.с.
(Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина)

Рассмотрены требования, предъявляемые к защитным покрытиям для режущих инструментов из поликристаллического нитрида бора. Представлены результаты исследований по изучению работоспособности инструментов с защитным покрытием при точении закаленной стали.

Ключевые слова: режущий инструмент, поликристаллический кубический нитрид бора, защитное покрытие, точение, закаленная сталь.

Розглянуто вимоги, що пред'являються до захисних покриттів для різальних інструментів з полікристалічного нітриду бора. Наведено результати досліджень з вивчення працездатності інструментів з захисним покриттям при точінні загартованої сталі.

Ключеві слова: різальний інструмент, полікристалічний кубічний нітрид бору, захисне покриття, точіння, загартована сталь.

The requirements to be met by protective coatings for cutting tools of polycrystalline boron nitride. The results of investigations on the study of health tools with protective coating for turning parts from hardened steel.

Keywords: cutter, polycrystalline cubic boron nitride, the protective coating, turning of hardened steel.

Процесс резания закаленных сталей инструментами из поликристаллического кубического нитрида бора (ПКНБ) сопровождается температурами 1100-1200 °С, интенсивным протеканием сложных механо-химических процессов контактного взаимодействия в зоне резания, что существенно влияет производительность обработки и стойкость инструмента [1].

Наличие на поверхности режущего инструмента защитного покрытия дает возможность кардинально изменить механизм контактного взаимодействия в зоне резания, повысить способность контактных участков инструмента сопротивляться макро- и микроразрушению и изнашиванию, обеспечить высокоскоростную обработку при относительно невысоких температурах резания.

В настоящее время при использовании защитных покрытий для инструментов из ПКНБ зачастую не учитываются специфические явления на контактных участках инструмента и механизм контактного взаимодействия инструментального композита с обрабатываемым материалом.

Цель настоящего исследования – разработка представлений о защитном покрытии для инструмента из ПКНБ и их практическая проверка.

Исследованиями [1] установлено, что износ режущих инструментов с ПКНБ при обработке закаленных сталей на высоких скоростях резания связан с протеканием химических реакций взаимодействия между инструментальным и

обрабатываемым материалом с образованием жидкой фазы из продуктов взаимодействия. Данные, полученные при моделировании взаимодействия с BN-(Fe-Ni-Cr) показали, что протекание химических реакций взаимодействия проходит в два этапа. На первом этапе при температуре 1380 °С происходит начало протекания химических реакций с образования боридов типа (Fe, Ni, Cr)_xB_y, на втором этапе – образование эвтектик типа Fe-Fe₂B и жидкой фазы путем контактного плавления при температуре 1177 °С.

Наличие повторного нагрева в зоне резания и температуры достаточной для начала протекания химических реакций взаимодействия, связано с тем, что на микронеровностях на поверхности инструмента при контакте со стружкой имеют место нагрузки, достаточные для протекания интенсивной пластической деформации материала, которая сопровождается возникновением температурных вспышек.

Таким образом, на вершинах контактирующих микронеровностей, а также на участках адгезионного взаимодействия, имеет место совокупность тепловых импульсов. Период существования температурных вспышек малый и определяется размерами зоны контакта, тепловыми и физико-механическими характеристиками контактной пары, а также скоростью резания.

Учитывая наличие в зоне контакта температурных вспышек, которые определяют интенсивность протекания химических реакций образования соединений на основе бора, повышение стойкости инструмента с ПКНБ связано с созданием условий при которых уменьшается тепловыделение на фактических пятна контакта, что обуславливает уменьшение интенсивности образования соединений (Fe, Ni, Cr)_xB_y и формирования на их основе легкоплавких эвтектик.

Учитывая вышесказанное, защитное покрытие для инструментов из ПКНБ, должно характеризоваться: меньшим значением твердости по сравнению с инструментальной основой, что обеспечивает снижение уровня внутренних остаточных напряжений и хрупкости покрытия; меньшим значением модуля Юнга, что повысит упругие свойства покрытия и устойчивость рабочих поверхностей инструмента к абразивному истиранию; низким коэффициентом трения для уменьшения термобарической нагрузки на рабочих участках инструмента.

Снижение внутренних напряжений термического характера в покрытии достигается за счет использования материала, который близок по своему химическому составу к инструментальной основе. Известно, что материалы в аморфном состоянии имеют большую структурную однородность по сравнению с поликристаллическими, поэтому для уменьшения внутренних напряжений структурного характера целесообразно использовать материал покрытия в аморфном состоянии.

На основе анализа состава, свойств и опыта использования покрытий из оксидов, нитридов, карбидов различных тугоплавких металлов с нано-, поликристаллической структурой можно сделать вывод, что вышеуказанным требованиям отвечает покрытие из нитрида бора с аморфной структурой (BN_{ам}).

Защитное покрытие на инструмент наносилось способом вакуумно-дугового осаждения на установке, оснащенной двумя магнетронами с автоном-

ным источником питания. Для полученного покрытия характерны показатели: размер области упорядочения 1 нм, модуль Юнга $E = 200\text{--}220$ ГПа, твердость по Кнупу $HK = 15$ ГПа, коэффициенты теплопроводности 70 Вт/(м·К), теплоемкости 800 Дж/(кг·К), трения (по закаленной стали ШХ 15) $0,3$ (для инструментальной основы – $0,45$) соответственно

Благодаря полученной совокупности свойств покрытие на режущем инструменте из ПКНБ играет роль твердой смазки – приводит к уменьшению размеров контактных участков (рис. *a, б*), силы (рис. *в, г*) и температуры резания (рис. *д, е*). Исследование проводилось при безударном точении образцов из закаленной стали ШХ15 (60–62 HRC).

Инструменты оснащались пластинами из ПКНБ марки «борсинит» ($E = 860$ ГПа, $HK = 34\text{--}38$ ГПа).

Расчет напряженного состояния в режущем инструменте показал, что уменьшение размеров зоны контакта и силы резания, при использовании покрытия, приводит к перераспределению напряжений – изменяется профиль эпюры, а нормальные и касательные напряжения снижаются на $10\text{--}15\%$.

В тело инструмента с покрытием поступает меньшее количество тепла, чем в инструмент без покрытия, что связано с уменьшением длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

Изменение термобарических условий нагружения режущего инструмента из ПКНБ при использовании покрытия приводит к изменению интенсивности и характера изнашивания режущего инструмента.

При точении со скоростью резания до $1,5$ м/с инструмент без покрытия подвергается интенсивному абразивному истиранию, следствием которого является появление впадин и выступов на контактных участках. Это связано с наличием в обрабатываемом материале твердых включений, а также эффектом «самоизнашивания», вызванным наличием на контактных поверхностях свободных зерен инструментального материала вследствие разрушения режущей кромки инструмента. С увеличением скорости резания до $2,5$ м/с, в результате протекания адгезионных процессов и химических реакций, на контактных участках инструмента образуются налипсы материала из продуктов взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов.

При использовании покрытия, при скорости резания до $1,5$ м/с, на изношенных участках инструмента нет характерных борозд абразивного износа – покрытие выступает в виде твердого лубриката, защищающего контактные участки инструмента от воздействия твердых абразивных частиц. При увеличении скорости резания до $2,5$ м/с режущий инструмент с покрытием менее интенсивно подвергается тепловому воздействию, что связано с уменьшением температуры резания и длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Последнее приводит к тому, что большее количество тепла, которое образуется в зоне резания, выносится стружкой, снижая интенсивность нагрева контактных участков инструмента. На контактных участках инструмента, в связи с уменьшением интенсивности протекания химических реакций и коэффициента трения, отсутствуют налипсы из застывших продуктов взаимодействия.

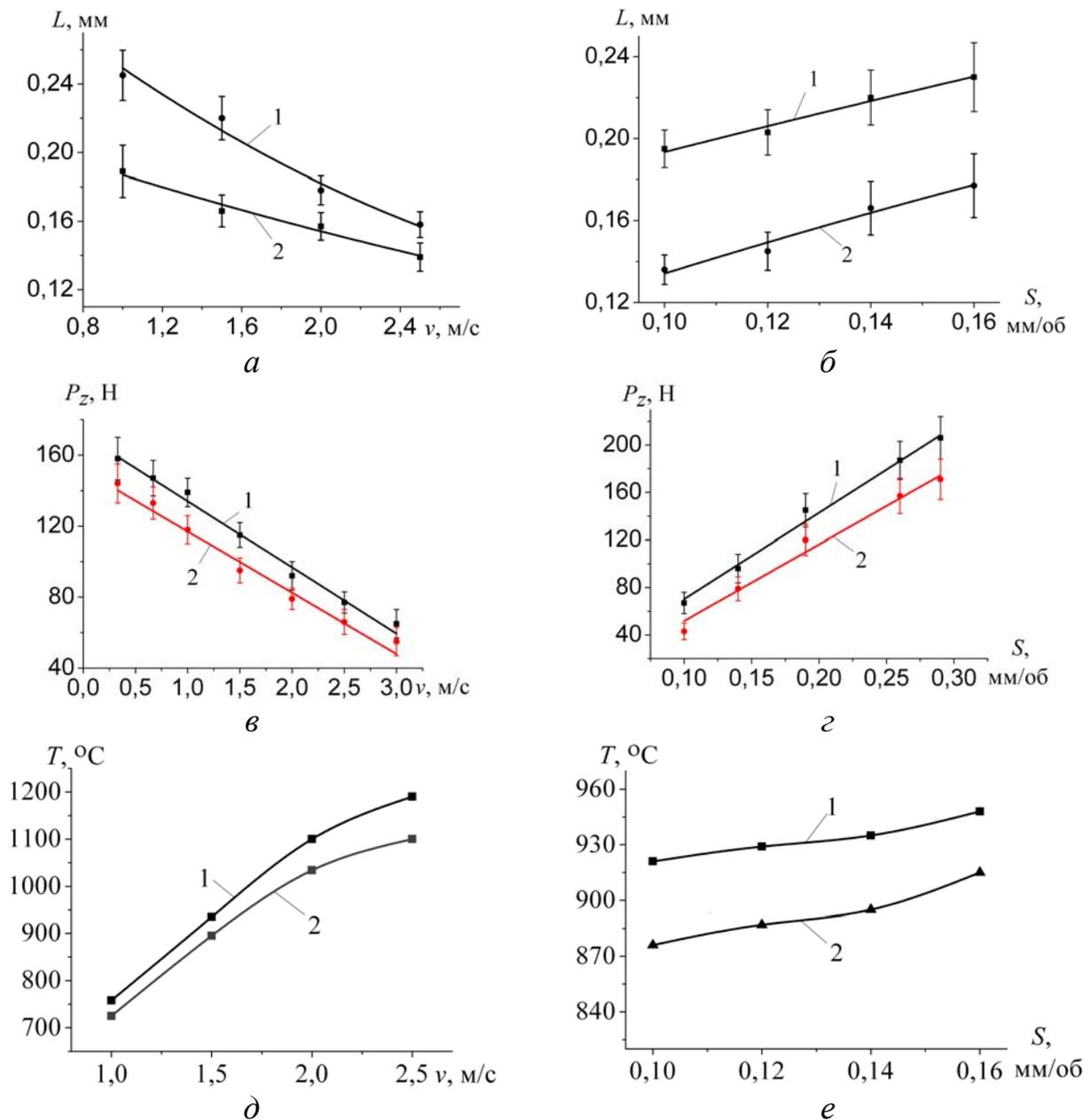


Рисунок – Длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента (*a*, *б*), величины тангенциальной составляющей силы резания (*в*, *г*) и температуры резания (*д*, *е*) для инструмента без покрытия (1) и с покрытием $BN_{ам}$ (2) в зависимости от скорости резания (*a*, *в*, *д*) и подачи (*б*, *г*, *е*)

Проверка работоспособности режущих инструментов из ПКНБ с покрытием показала, что при безударной токарной обработке закаленной стали наличие защитного покрытия на рабочих поверхностях инструмента позволяет повысить стойкость на 25% и уменьшить скорость изнашивания инструментов на 22% по сравнению с аналогичными инструментами без покрытия.

Список литературы: 1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.

ГИБРИДНАЯ СТРУЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРЕЗАНИЯ ПЛАСТИН ИЗ СЛОИСТЫХ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОМПОЗИТОВ

Саленко А.Ф., докт. техн. наук, проф.

*(Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского,
Кременчуг, Украина)*

Клименко С.А., докт. техн. наук, проф.

(Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина)

Рассмотрена гибридная технология разрезания пластины из слоистого алмазно-твердосплавного композита, сочетающая лазерно-струйное и гидро-абразивное воздействие. Предложенное решение позволяет повысить производительность разрезания, особенно в случае, когда обработке подвергаются пластины значительной толщины.

Ключевые слова: алмазно-твердосплавный композит, лазерно-струйная резка, гидро-абразивная резка.

Розглянуто гібридна технологія розрізання пластини з шаруватого алмазно-твердосплавного композиту, яка поєднує лазерно-струменевий і гідро-абразивний впливи. Запропоноване рішення дозволяє підвищити продуктивність розрізання, особливо при обробці пластини значної товщини.

Ключеві слова: алмазно-твердосплавний композит, лазерно-струменеве різання, гідро-абразивне різання.

Hybrid technology is considered cutting layered diamond-carbide composites, combining consistent laser-jet and hydro-abrasive effect. The proposed solution makes it possible to improve the cutting performance, particularly when subjected to considerable processing the plate thickness.

Keywords: diamond-carbide composite, laser-jet and hydro-abrasive cutting.

Размерная обработка плоских изделий из слоистых композитов, контурное разрезание пластин, плоских заготовок произвольной формы, представляет несомненный интерес для современного высокотехнологичного производства, поскольку позволяет формировать из полученных спеканием заготовок полуфабрикаты или готовые изделия с различными геометрическими формами. При этом традиционные методы, прежде всего, абразивная обработка, электроэрозионное разрезание, имеют ограниченное применение, что обусловлено особенностями структурного состояния и физико-механическими свойствами материалов обрабатываемых заготовок. К заготовкам из таких изделий относятся алмазно-твердосплавные пластины (АТП), содержащие верхний слой из поликристаллического сверхтвердого композита на основе синтетического алмаза (ПКА) и опорный слой из твердого сплава (ТС), полученные спеканием в аппаратах высокого давления [1].

Гибридная технология обработки, базирующаяся на сочетании различных способов воздействия энергетических или иных потоков на материал позволяет существенно снизить трудозатраты на изготовление, повысить качество обработки изделий из таких композитов.

Резы выполнялись лазерно-струйным (ЛРС) и гидро-абразивным (ГАР) методами с использованием лазерно-струйного комплекса ЛСК-400-5, оснащенного гидро-абразивной головкой и лазерно-струйной головкой с импульсным Nd:YAG-лазером.

ГАР производилась с расходом абразива – до 0,5 кг/мин и под давлением жидкости – 250 МПа. В качестве абразива использовался гранатовый песок зернистостью 300 меш.

При многопроходной лазерно-струйной обработке резы осуществляли с подачей до 50 мм/мин, при мощности излучения 400 Вт с частотой импульсов 75–150 Гц. Подачу жидкости при ЛРС производили непосредственно в центр фокуса лазера под давлением 25–50 МПа.

Результаты исследований зависимости скорости проникновения струи в обрабатываемую заготовку дают основание считать, что процесс разрезания АТП более эффективен и производительен, если обработку вести по гибридной технологии (рис. 1) – на первом этапе производится формирование скрайба ЛРС с прогрессирующим падением производительности (задача этого этапа не только в получении геометрически правильной формы реза, но и в устранении донных дефектов, которые могут приводить в дальнейшем к отклонению направления ГАР и получению дефекта торца), на втором этапе по сформированному скрайбу направляется гидроабразивный поток, причем ГАР может быть однопроходный.

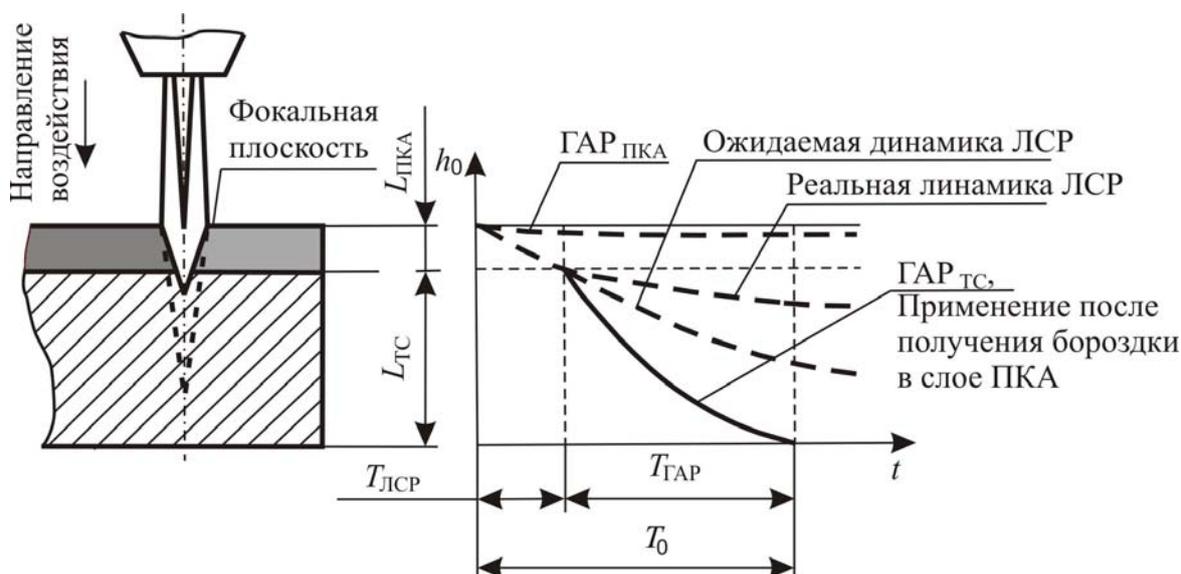


Рис. 1 – Схема формирование реза в АТП

Нужно учесть, что, применение ГАР после ЛРС дает возможность повысить производительность резания в несколько раз, особенно в случае, когда обработке подвергаются пластины значительной толщины.

Как показано в [2], начальное отклонение формы реза, особенно при реализации прерывистых технологических процессов, искривляет струю и дальнейшая обработка приводит только к ухудшению качества изделия, прежде всего, за счет прогрессирующего отклонения формы реза.

Не является исключением и картина формирования реза в АТП. На рис. 2 показаны этапы формирования реза в алмазном слое АТП – на этапе неполного прорезания алмазного слоя ЛСР имеет место отклонение от перпендикулярности кромки, на окончательной стадии исправляются не только дефекты формы, но и нарушения структуры обрабатываемого материала.

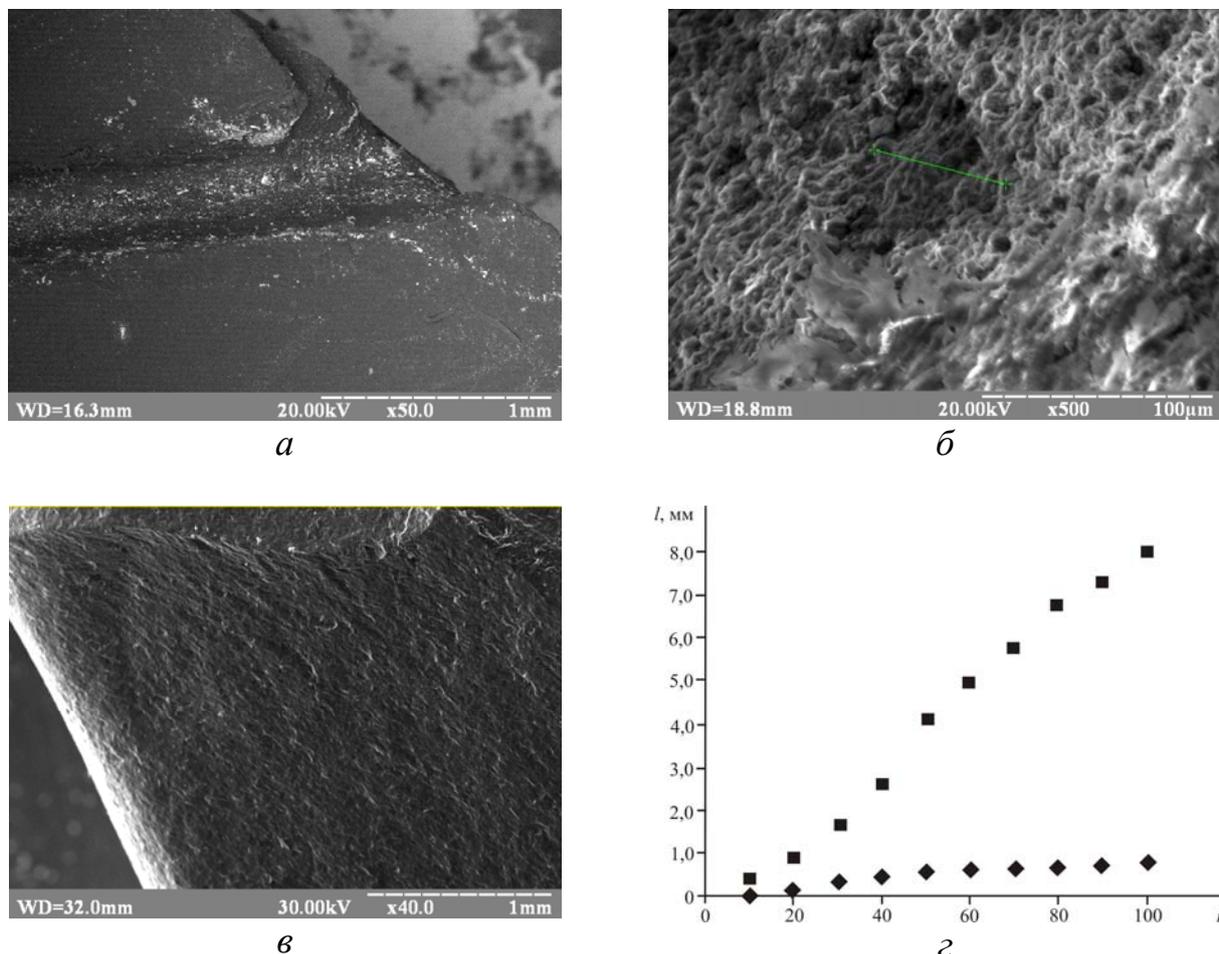


Рис. 2 – Начальный скрайб в алмазном слое (а), алмазный слой после ЛСР (б), поверхность реза в алмазном слое после ГАР (в), зависимость глубины реза в АТП от количества проходов при лазерно-струйном (◆) и гидро-абразивном (■) воздействиях (◆ – алмазный слой; ■ – твердосплавный слой)

Представленная на рис. 2, z зависимость глубины реза в алмазном и твердосплавном слоях АТП от числа проходов при лазерно-струйном и гидро-абразивном воздействиях, соответственно показывает, что производительность процесса определяется, в основном, получением скрайба в сверхтвердом слое.

Список литературы: 1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с. 2. Salenko, A.F. Cutting of Polycrystalline Superhard Materials by Jet Methods / A.F. Salenko, V.T. Shchetinin, G.V. Gabuzyan et al. // J. of Superhard Mat. – 2016. – Vol. 38, № 5. – P. 351–362.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПИКОМЕТРИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТА

Коломиец В.В., докт. техн. наук, проф., **Ридный Р.В.**, канд. техн. наук,

Фабричникова И.А., канд. техн. наук

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко, Харьков, Украина)*

Шабалин Д.В., докторант

(г. Ольборг, Дания)

Vijay Kumar, prof, Dr.

(PMT GREATER NOIDA, India)

В роботі розглянуті перспективи застосування пікометрії при реновації деталей, визначенні параметрів шорсткості оброблених поверхонь і виготовленні інструментів для перетворення буряків у стружку.

Ключові слова: нанометрія, пікометрія, реновація деталей, шорсткість обробленої поверхні, ножі, буряки, стружка.

В работе рассмотрены перспективы применения пикометрии при реновации деталей, определении параметров их шероховатости и изготовлении инструментов для превращения свеклы в стружку.

Ключевые слова: нанометрия, пикометрия, реновация деталей, шероховатость обработанной поверхности, ножи, свекла, стружка

In the article are considered the prospects of application of picometry at renovation of the details determination of the parameters of roughness an the manufacture of tools for converting beetroot info shaving.

Key words; nanometry, picometry, renovation, details, roughness, processed surface, beetroot-cutting knives, strengthening, instruments.

Бурное развитие точного машиностроения в последнее время требует применения новейших технологий по изготовлению и реновации деталей с повышенными характеристиками, особенно в поверхностных слоях, которые зачастую определяют основные эксплуатационные характеристики машин. Технологически стало возможным создавать рабочие поверхности деталей с поверхностными слоями, которые измеряются уже нанометрами (10^{-9} м), а в некоторых случаях и долями нанометров, то есть пико метрами (10^{-12} м).

При реновации ответственных деталей их поверхностные слои наплавляют или напыляют тугоплавкими высокопрочными материалами, которые значительно повышают их эксплуатационные свойства [1]. Так, нанося покрытия нанопорошками SiO_2 , значительно повышается твердость приповерхностных слоев, размер которых составляет уже меньше чем 10^{-9} м, то есть их размер можно оценить в пико метрах 10^{-12} м [2]. Кроме того, измерение параметров шероховатости обработанной поверхности, таких как шероховатость отдельных ее элементов, требует также их измерения в пико метрах [3]. Применение при реновации деталей различных методов поверхностного упрочнения, таких как напыление, химико-термическая и лазерная обработка поверхностных слоев на

мельчайшие глубины, требует измерения поверхностных слоев в долях нанометра, то есть снова в пико метрах. Особенно это относится к методам «залечивания» дефектов изготовления и обработки парами и комбинированными химико-термическими способами упрочнения приповерхностных слоев [4].

Упрочнение особенно острых ножей для превращения буряков в бурякорезках в стружку проводят комбинированными способами целого ряда технологий, в том числе и лазерной обработкой на чрезвычайно малую глубину, чтобы сохранить предел прочности сердцевины на изгиб и избежать охрупчивания тонкой режущей части заточенной под углом $9 - 10^\circ$ С [5 - 8]. Такая обработка требует точного определения проникновения лазерного луча на глубину меньше нанометра. Установлено, что глубина лазерной обработки поверхностных слоев свеклорезных ножей составляет сотни пико метров. Применение комбинированных методов упрочнения свеклорезных ножей требует установления точных размеров для каждого метода в отдельности и эти размеры снова можно оценить нано и пико метрами. При реновации деталей и упрочнении инструмента применяют различные методы нанесения тонких покрытий, слои которых в некоторых случаях составляют даже доли пико метров, а это уже относится к фемто метрии (10^{-15} Ф).

В последнее время в некоторых исследованиях приводятся размеры поверхностных слоев даже в аттометрии (10^{-18} а). Однако, на наш взгляд, при сегодняшнем развитии техники измерений и способов нанесения покрытий этого еще не может быть. Поэтому такие данные, которые иногда появляются в исследованиях по планированию экспериментов, сейчас еще не корректны, но в недалеком будущем при таком, же бурном развитии точного машиностроения и такие данные станут реальными и научно обоснованными. Для этого необходимо разработать новые еще более совершенные измерительные приборы и методы нанесения покрытий на детали и дальнейшее упрочнение режущего инструмента тонких размеров.

Список литературы. 1. Обработка резанием деталей с покрытиями: Монография / С.А. Клименко, В.В. Коломиец, М.Л. Хейфец и др. Под общ. ред. С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с. **2.** Влияние режимов нанесения и доли зольных добавок во флюс на твердость покрытия / Т.С. Скобло, В.В. Коломиец, В.Ф. Ридный и др. // Физические и компьютерные технологии: Труды 13-й Междунар. научн.-техн. конф. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 277–281. **3.** Влияние условий точения восстановленных наплавкой деталей на отношение радиуса закругления вершин микронеровностей к их высоте / Т.С. Скобло, В.В. Коломиец, В.Ф. Ридный, Р.В. Ридный // Физические и компьютерные технологии: Труды 9-й Междунар. научн.-техн. конф. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 70–73. **4.** Коломиец В.В. Усовершенствованный способ увеличения износостойкости бурякорезных ножей / В.В. Коломиец, И.А. Фабричникова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харьков: НТУСГ, 2008. – Вып. 75. – Том 2. – С. 564–568. **5.** Фабричникова И.А. Разработка и внедрение комплексного способа упрочнения свеклорезных ножей для срезания стружки / И.А. Фабричникова, В.В. Коломиец // MOTROL < Lublin-Rzeszow, 2013. - Vol. 15, №7. –С. 129–135. **6.** Патент України на корисну модель №42467. Комплексний спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів /Автори: Фабричникова І.А., Коломієць В.В., Тимофєєва Л.А., Лукьяненко В.М. – Оpub. 10.07.2009. – Бюл. №13. 2009 р. **7.** Патент України на корисну модель №54635. Ніж безреберний бурякорізальний. /Автори: Фабричникова І.А., Кв'ятковський А.Й., Коломієць В.В. – Оpub. 25.11.2010. – Бюл. №22. 2010 р. **8.** Патент України на корисну модель №66679. Спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів. /Автори: Скобло Т.С., Фабричникова І.А., Коломієць В.В., Мартиненко О.Д. – Оpub. 10.01. 2012. – Бюл. №1. 2012 р.

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Сизый Ю. А., докт. техн. наук, проф.

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Сталинский Д. В., докт. техн. наук, проф.

(ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», Харьков, Украина)

Ушаков А. Н., канд. техн. наук, доц.

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Приведено решение двух задач исследования динамики металлорежущих станков: применение метода пространства состояний для исследования крутильных колебаний привода вращения и исследование фрикционных автоколебаний визуальным моделированием.

Ключевые слова: динамика металлорежущих станков, крутильные колебания, фрикционные автоколебания

Наведено рішення двох завдань дослідження динаміки металорізальних верстатів: застосування методу простору станів для дослідження крутильних коливань приводу обертання і дослідження фрикційних автоколивань візуальним моделюванням.

Ключові слова: динаміка металорізальних верстатів, крутильні коливання, фрикційні автоколивання

The solution of the two objectives of the study of the dynamics of machine tools: application of the method the state space for the study of torsional rotation of the drive oscillation and study the frictional self-oscillations of visual modeling.

Keywords: dynamics of machine tools, torsional vibrations, friction self-oscillation

В последние 1,5 года на кафедре ТМС НТУ «ХПИ» совместно с УкрНТЦ «Энергосталь» рассмотрено решение двух задач исследования динамики металлорежущих станков. Первая – применение метода пространства состояний для исследования крутильных колебаний привода вращения; вторая – исследование фрикционных автоколебаний визуальным моделированием.

1. Сравнительный анализ исследования крутильных колебаний по существующей и предлагаемой методике

В настоящее время в практике исследования крутильных колебаний приводов вращения станков установилась следующая методика [1-3]: 1) упрощение привода, т.е. приведение его к системе содержащей только сосредоточение массы соединенные безинерционными валами; 2) приведение системы к одному приведенному валу; 3) при большом числе масс приведение системы к двух-, трех–массовой; 4) вычисление низших собственных частот и определение для них форм колебаний.

Недостатком этой методики является то, что собственные частоты колебаний вычисляются без учета рассеивания энергии в приводе, т.е. демпфирования, и невозможность оценить амплитуды колебаний элементов привода в резонансном режиме.

Сравнение существующей методики и предлагаемой выполнено на примере исследования крутильных колебаний привода вращения шлифовального круга станка 3М151.

В существующей методике собственные частоты колебаний вычисляются из системы однородных дифференциальных уравнений динамического равновесия сосредоточенных масс. При этом схема привода приведенного к валу ротора электродвигателя показана на рис. 1 и система уравнений (1), описывающая равенство моментов в динамике на массах, следующая:

$$\begin{cases} J_1\ddot{\varphi}_1 - \frac{1}{\ell_3}\varphi_1 + \frac{1}{\ell_1}(\varphi_1 - \varphi_2) = 0; \\ J_2\ddot{\varphi}_2 - \frac{1}{\ell_1}(\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{1}{\ell_2}(\varphi_2 - \varphi_3) = 0; \\ J_3\ddot{\varphi}_3 - \frac{1}{\ell_2}(\varphi_2 - \varphi_3) + \frac{1}{\ell_3}(\varphi_3 - \varphi_4) = 0; \\ J_4\ddot{\varphi}_4 - \frac{1}{\ell_3}(\varphi_3 - \varphi_4) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – углы закручивания масс J_1, J_2, J_3, J_4 .

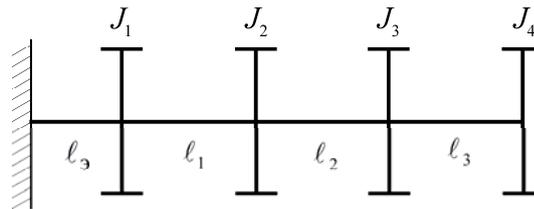


Рис.1 – J_1, J_2, J_3, J_4 – моменты инерции масс: ротора, шкива на валу ротора, шкива шпинделя и самого шпинделя. $\ell_3, \ell_1, \ell_2, \ell_3$ – податливости: электромагнитной связи статора с ротором, вала ротора, ременной передачи, шпинделя

Используя известное решение этой системы в виде гармонических функций $\varphi_i = A_i \sin(\omega_{c,i}t + \varepsilon_i)$, получается система уравнений, которую можно записать в матричной форме: $\mathbf{M} \cdot \mathbf{A} = 0$,

$$\text{где } \mathbf{A} = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{pmatrix}; \mathbf{M} = \begin{vmatrix} \frac{1}{\ell_1} - \frac{1}{\ell_3} - J_1\omega^2 & -\frac{1}{\ell_1} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{\ell_1} & \frac{1}{\ell_1} + \frac{1}{\ell_2} - J_2\omega^2 & -\frac{1}{\ell_2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\ell_2} & \frac{1}{\ell_2} + \frac{1}{\ell_3} - J_3\omega^2 & -\frac{1}{\ell_3} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\ell_3} & \frac{1}{\ell_3} - J_4\omega^2 \end{vmatrix}.$$

Уравнение $\mathbf{M} \cdot \mathbf{A} = 0$ будет иметь решение, если определитель матрицы \mathbf{M} равен нулю. Раскрыв его, получаем алгебраическое уравнение в виде полинома четвертой степени относительно ω^2 . Решив его, получили собственные частоты: $\omega_0 = 0$; $\omega_1 = 7,47$ рад/с, $\omega_2 = 231,4$ рад/с, $\omega_3 = 804,82$ рад/с.

Определить амплитуды колебаний A_i из (1) с подстановкой в него $\varphi_1 = A_i \sin(\omega_{c,i} t + \varepsilon_i)$ невозможно, т.к. уравнений недостаточно и тогда находят относительные амплитуды, принимая одну из амплитуд равной единице. Так, для первой собственной частоты получены относительные амплитуды:

$$a_1 = \frac{A_1}{A_1} = 1; \quad a_2 = \frac{A_2}{A_1} = -1,87; \quad a_3 = \frac{A_3}{A_1} = -1,97; \quad a_4 = \frac{A_4}{A_1} = -1,98.$$

Получены также относительные амплитуды и для прочих собственных частот.

Имея значения собственных частот ω_i , исследователь сопоставляет их с возможными частотами внешнего воздействия (например, моментом резания) на привод и делает вывод о возможности резонанса. Однако следует отметить, что собственные частоты определены без учета демпфирования, т.е. с определенной погрешностью, а относительные амплитуды фактически не имеют практического значения, т.к. они не позволяют оценить величину амплитуды в резонансном режиме и сделать вывод о приемлемости или неприемлемости такого режима работы.

Уравнения пространства состояний описывают исследуемую систему неоднородными дифференциальными уравнениями не выше 1^{го} порядка, для чего вводится в качестве параметра системы, в отличие от (1), скорость закручивания сосредоточенных масс. Это позволяет учесть рассеивания энергии колебаний через введение момента сопротивления закручиванию пропорционального относительной скорости закручивания масс. Кроме этого, в систему уравнений пространства состояний вместо податливости электромагнитной связи статора с ротором, вычисляемой приблизительно, можно ввести дифференциальное уравнение двигателя на линейном участке его механической характеристики.

В результате получена следующая система уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{M} = -2M_{\kappa} P_{\pi} \omega_1 - \frac{1}{T_3} M; \\ \dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_1} M - \frac{1}{J_1 \ell_1} (\varphi_1 - \varphi_2); \\ \dot{\omega}_2 = \frac{1}{J_2 \ell_2} (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{1}{J_2 \ell_2} (\varphi_2 - \varphi_3) - \frac{h}{J_2} (\omega_2 - \omega_3); \\ \dot{\omega}_3 = \frac{1}{J_3 \ell_2} (\varphi_2 - \varphi_3) + \frac{h}{J_3} (\omega_2 - \omega_3) - \frac{1}{J_3 \ell_3} (\varphi_3 - \varphi_4); \\ \dot{\omega}_4 = \frac{1}{J_4 \ell_3} (\varphi_3 - \varphi_4) - \frac{1}{J_4} M_c; \\ \frac{d(\varphi_1 - \varphi_2)}{dt} = \omega_1 - \omega_2; \\ \frac{d(\varphi_2 - \varphi_3)}{dt} = \omega_2 - \omega_3; \\ \frac{d(\varphi_3 - \varphi_4)}{dt} = \omega_3 - \omega_4. \end{array} \right. \quad (3)$$

Здесь M – момент развиваемый двигателем, M_{κ} – критический момент двигателя; M_c – момент резания; P_{π} – число пар полюсов двигателя.

Эта система уравнений в теории автоматического управления называется системой пространства состояний [4]. Внешним воздействием на систему привода является момент сопротивления (шлифования) M_c .

Таким образом, система (3) описывает вынужденные колебания привода с воздействием на него моментом M_c .

Введя обозначения: $x_1 = M$; $x_2 = \omega_1$; $x_3 = \omega_2$; $x_4 = \omega_3$; $x_5 = \omega_4$; $x_6 = \varphi_1 - \varphi_2$; $x_7 = \varphi_2 - \varphi_3$; $x_8 = \varphi_3 - \varphi_4$; можно эту систему записать матричным уравнением состояния [4]:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}U, \quad (4)$$

Из (4) получают передаточную функцию $W(S)$, как отношение изображения i^{-1} элемента системы (3) к изображению входного сигнала $M_c(S)$ [4]:

$$W(S) = \mathbf{C}(\mathbf{S}\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B},$$

где \mathbf{C} – матрица связывающая выходную координату системы $y_i(t)$ с параметрами $x_i(t)$.

Если нас интересует в качестве выходной координаты угол закручивания шпинделя, т.е. $x_8 = \varphi_3 - \varphi_4$, то $y(t) = \mathbf{C}x_8(t) + \mathbf{D}U(t)$ и $\mathbf{C} = |0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1|$. Матрица \mathbf{D} обычно равна нулю.

Перейдя в частотную область, получаем частотную передаточную функцию $W(\omega \cdot i)$, из которой можно получить амплитудно-частотную характеристику вынужденных крутильных колебаний.

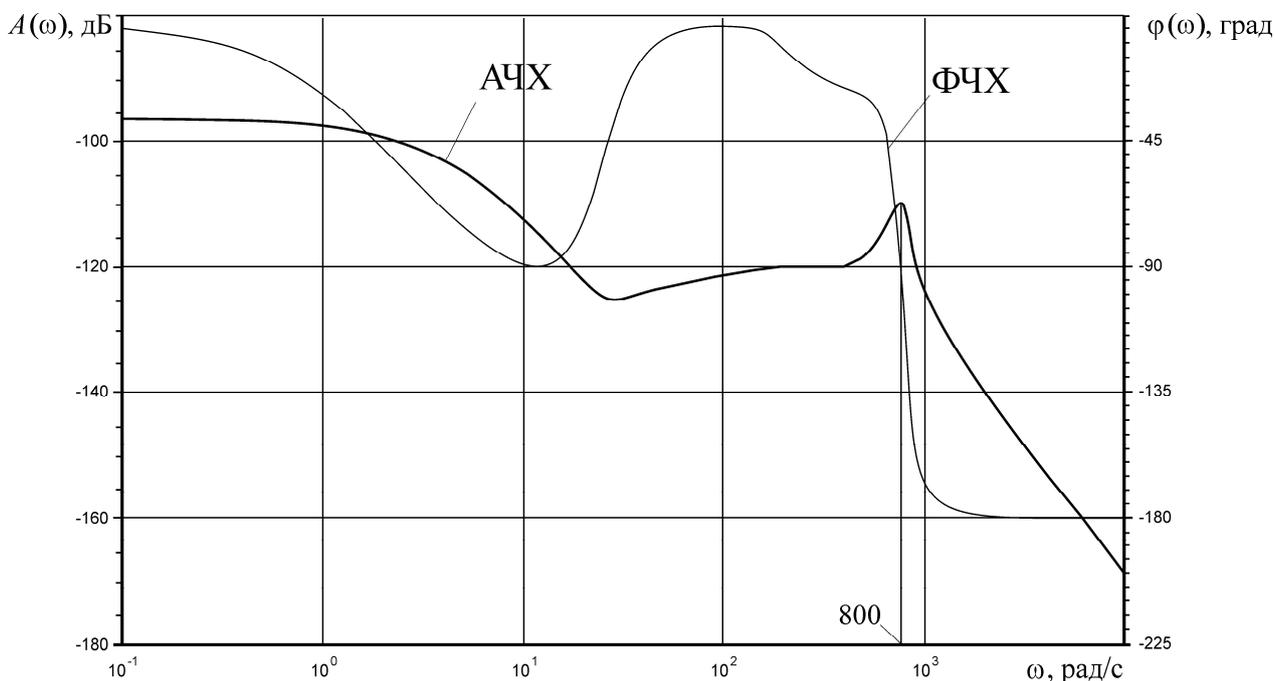


Рис. 2 – АЧХ в логарифмической системе координат

На рис. 2 показана АЧХ в логарифмической системе координат, которая несет важную информацию. По этой характеристике видно как амплитуда колебаний момента резания на частотах от 0 до 10000 рад/с преобразуется в амплитуду закручивания шпинделя, что нельзя сделать при существующей мето-

дике. На этой кривой виден один пик на частоте 800 рад/с и этот пик меньше чем закручивание шпинделя в статике ($\omega=0$).

Таким образом, опасаться резкого возрастания угла закручивания шпинделя не приходится, что очевидно объясняется демпфированием ременной передачи (коэффициент демпфирования h , см. (3)) за счет упругого трения ремней о шкивы.

2. Моделирование фрикционных автоколебаний

При малых перемещениях в станках по направляющим скольжения возможно возбуждение фрикционных автоколебаний, что отрицательно сказывается на точности этих перемещений. Проблема фрикционных автоколебаний достаточно глубоко исследована аналитически в работах Пуша В.Э. [5,6].

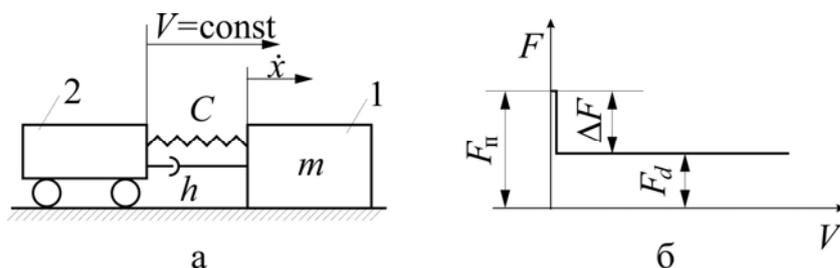


Рис. 3 – Привод (а) и нелинейная характеристика трения (б)

В этих работах рассматривается привод, показанный на рис. 3а, в котором задающий механизм 2, сообщает со скоростью V перемещение ползуна массой m через упруго – демпфирующую связь с жесткостью C и коэффициентом демпфирования h . При этом принимается нелинейная характеристика трения, показанная на рис. 3б, где $Fп$ – сила трения покоя, $Fд$ – сила трения движения.

При такой характеристике трения и при наличии силы демпфирования пропорциональной относительной скорости ползуна и задающего механизма, уравнение движения ползуна

$$\Delta F - C(x - Vt) = m\ddot{x} + h(\dot{x} - V), \quad (5)$$

$$\text{или } \ddot{x} + 2\xi\omega_0 \cdot \dot{x} = \omega_0^2 Vt + \frac{\Delta F}{m} + 2\xi\omega_0 V, \quad (6)$$

где $\xi = \frac{h}{2\sqrt{C \cdot m}}$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}$ – частота собственных колебаний ползуна на пружине.

Пушем В.Э. [5, 6] получены решения уравнения (6), т.е. $x(t)$ и $\dot{x}(t)$, в котором введен параметр $A = \frac{\Delta F}{V\sqrt{C \cdot m}}$. Автор показывает, что существует критическая скорость V_k , ниже которой ползун движется скачками и предложена формула расчета V_k :

$$V_k = \frac{\Delta F}{A_k \sqrt{C \cdot m}}.$$

При малых значениях ξ зависимость $A_k(\xi)$ можно аппроксимировать приближенно выражением

$$A_k \cong \sqrt{4\pi \cdot \xi},$$

и получить формулу расчета:

$$V_k = \frac{\Delta f \cdot N}{\sqrt{4\pi \cdot \xi \cdot C \cdot m}}, \quad (7)$$

где $\Delta f = f_n - f_d$; f_n, f_d – коэффициенты трения покоя и движения; N – нормальная нагрузка на поверхность трения.

В [5,6] приведен характер изменения скорости ползуна $\dot{x}(t)$ во времени согласно рис. 4, где t_1 – время скачка; t_2 – время выстоя.

Однако, график, представленный на рис. 4, $\dot{x}(t)$ не является следствием его математического описания у автора. Он является субъективной интерпретацией этого решения.

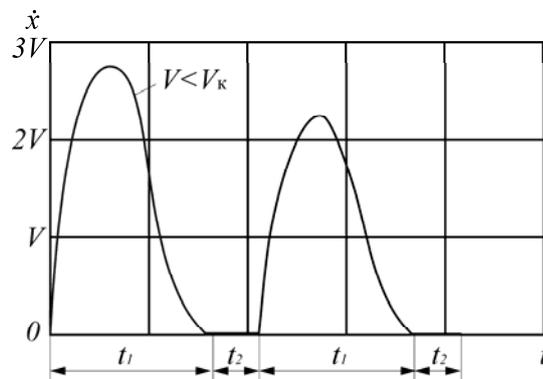


Рис. 4

Если взять пример, приведенный Пушем В.Э. [5], исследования привода тяжелого долбежного станка мод. 747, то используя его данные и математическое описание $\dot{x}(t)$, на рис. 5 приведены графики для различных скоростей V . Из этого рисунка видно, что при неравномерном движении ползуна фазы выстоя, т.е. остановки, не наблюдается в отличие от приведенного на рис. 4.

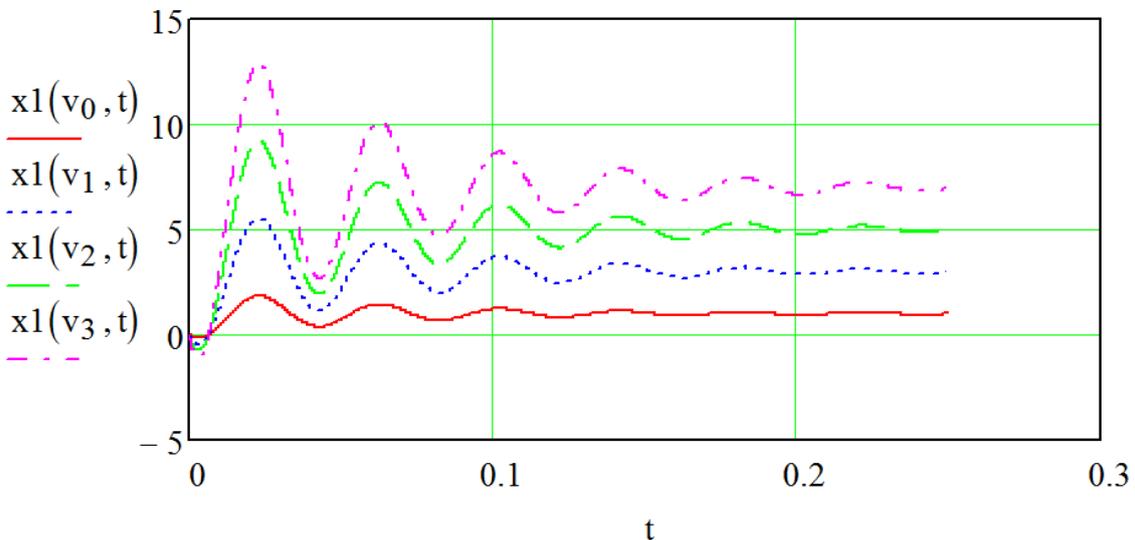


Рис. 5

Для данного примера рассчитано по (7) значение $V_k = 5,5$ мм/с. Причем, для всего диапазона $V = (1 \div 7)$ мм/с неравномерное перемещение через 0,2 с становится равномерным и определение V_k по этим графикам невозможно.

Из выполненного анализа следует, что описывая систему движения ползуна по неподвижной поверхности уравнением (1), закладывая в него логику скачкообразного движения с фазами «скачка» и «выстоя», реализовать её аналитически не удастся. Очевидно, её невозможно реализовать без приемов программирования, позволяющих управлять алгоритмом интегрирования периодически останавливая его и вновь возобновляя.

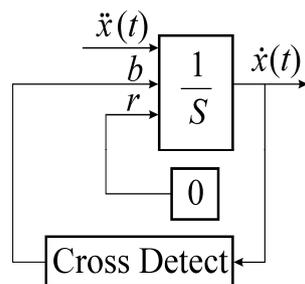


Рис. 6

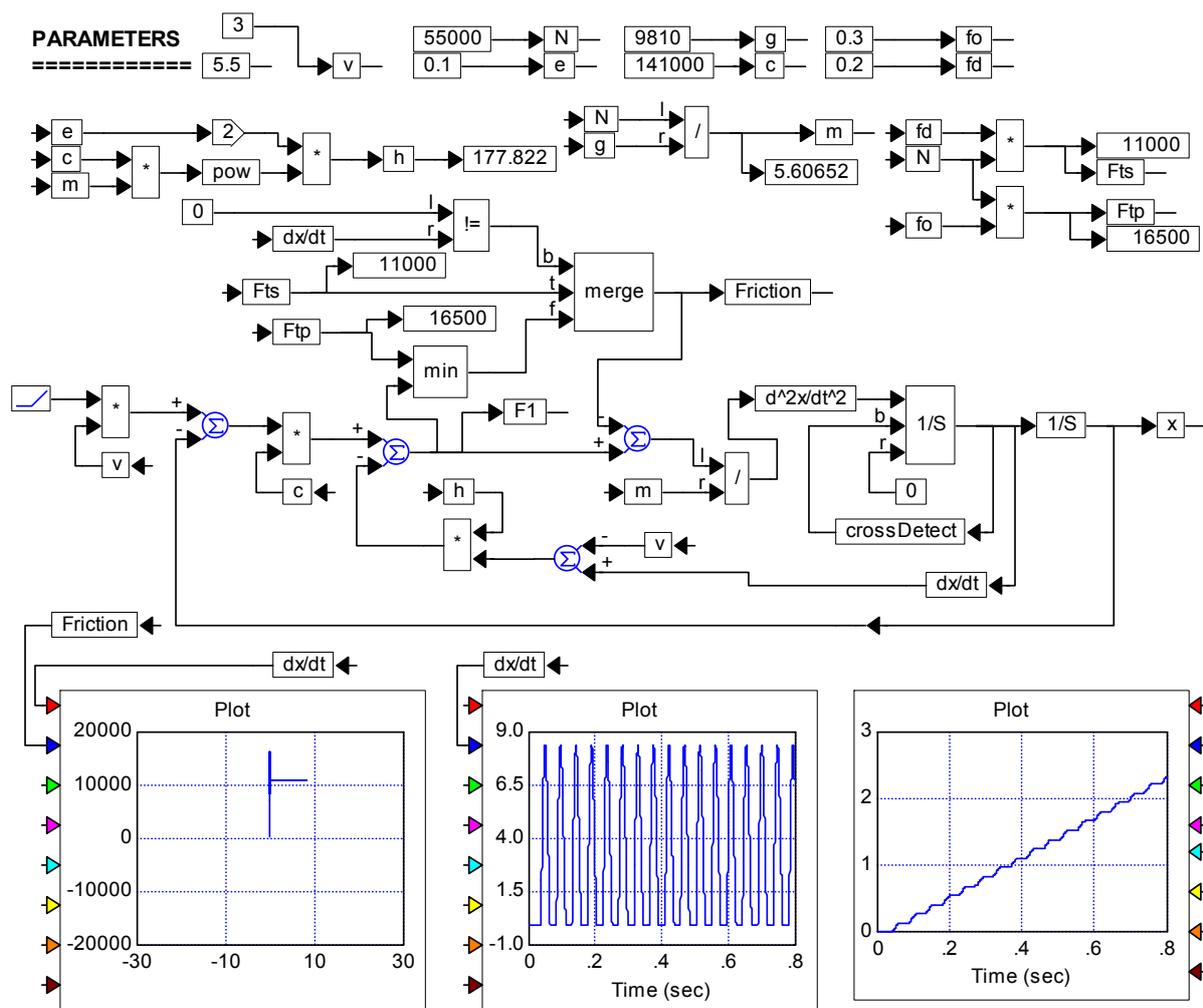


Рис. 7

Такую логику можно запрограммировать, пользуясь возможностями пакета «VisSim», т.е. сочетанием интегратора со сбросом «Reset Integrator» с детектором перехода «Cross Detect». Такое сочетание (рис. 6) указанных блоков позволяет останавливать интегрирование $\ddot{x}(t)$, когда $\dot{x} = 0$.

Используя уравнение (1) и сочетание блоков на рис. 6, разработана программа моделирования фрикционных релаксационных автоколебаний, приведенная на рис. 7, применительно к станку мод. 747 согласно данным Пуша В.Э. [5]. На нижнем графике показаны зависимости $x(t)$ для различных значений скорости V задающего механизма. При скорости $V < 5$ мм/с движение ползуна происходит скачками с явно выраженной фазой выстоя. При $V \geq 5$ мм/с движение становится равномерным.

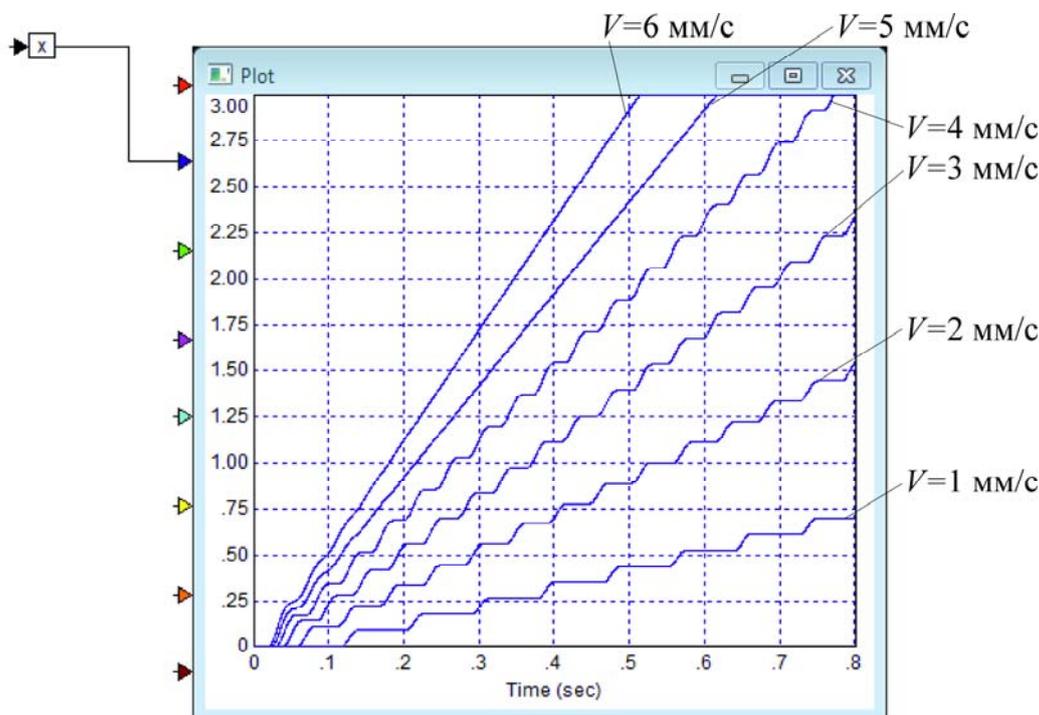


Рис. 8

Таким образом, разработана программа моделирования, позволяющая воспроизводить релаксационные фрикционные автоколебания, и по виду зависимости $x(t)$ можно уверенно определять критическую скорость. При этом ограничение на относительный коэффициент демпфирования ξ не накладывается, как это делает Пуш В.Э. в формуле (7).

Список литературы: 1. Ривин Е.И. Динамика приводов станков / Е.И. Ривин. – М.: Машиностроение, 1966. – 203 с. 2. Вейц В. Л. Вынужденные колебания металлорежущих станков / В.Л. Вейц, В.К. Дондошанский, В.И. Чиряев. – М.: Машгиз, 1959. – 287 с. 3. Маслов Г.С. Расчет колебаний валов / Г.С. Маслов. – М.: Машиностроение, 1968. – 272 с. 4. Филлипс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 815 с. 5. Пуш В.Э. Малые перемещения в станках / В.Э. Пуш. – М.: Гос. научн.-техн. изд-во машиностроит. лит-ры, 1961. – 123 с. 6. Пуш В.Э. Конструирование металлорежущих станков / В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Ковалев В.Д., докт. техн. наук, проф., ректор

(Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина)

Ключко А.А., докт. техн. наук, проф.

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Кравченко Д.А., аспирант, **Терещенко Т.В.**, аспирант

(Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина)

Рассмотрено решение контактно-гидродинамической теории при контактировании высокоскоростных тяжелоагруженных зубчатых колес тяжелых токарных станков, которое заключается в совместном решении трех зависящих друг от друга задач гидродинамической, контактной и тепловой – для смазочного вещества и сопрягаемых эвольвентных поверхностей. Практика эксплуатации зубчатых передач убедительно доказала реальное осуществление контактно-гидродинамического режима трения, где толщина смазочного слоя значительно превосходит высоты микронеровностей, экспериментально доказано, что расчетная долговечность зубчатых передач может быть гарантирована лишь при определенном соотношении между толщиной масляного слоя и микрогеометрией контактирующих поверхностей. Решения контактно-гидродинамической задачи производятся численным методом, путем последовательного наложения решений гидродинамической и упругой задач до получения сходимости результатов при определенных значениях рабочих параметров формы зазора между сопрягаемыми эвольвентными поверхностями и соответствующей эпюры распределения давления в масляном слое. Форма зазора и эпюра давления являются главными факторами, которые определяют основные параметры контактирования цилиндрической зубчатой передачи. Смешанная задача теории упругости сводится к системе дифференциальных уравнений в частных производных.

Ключевые слова: гидродинамическая теория, контакт, зубчатые передачи, масляный слой, толщина, зазор, микронеровности, эпюра давления

Розглянуто вирішення контактно-гидродинамічної теорії при контакті високошвидкісних тяжелоавантажених зубчастих коліс важких токарних верстатів, яке полягає в спільному вирішенні трьох залежних один від одного завдань гідродинамічною, контактною і тепловою – для змащувальної речовини і евольвентних поверхонь, що сполучаються. Практика експлуатації зубчастих передач переконливо довела реальне здійснення контактно-гидродинамічного режиму тертя, де товщина змащувального шару значно перевищує висоти мікронерівностей, експериментально доведено, що розрахункова довговічність зубчастих передач може бути гарантована лише при певному співвідношенні між товщиною масляного шару і мікрогеометрією контактуючих поверхонь. Рішення контактно-гидродинамічної задачі виробляються чисельним методом, шляхом послідовного накладення вирішень гідродинамічного і пружного завдань до здобуття збіжності результатів при певних значеннях робочих параметрів форми зазору між евольвентними поверхнями, що сполучаються, і відповідної епюри розподілу тиску в масляному шарі. Форма зазору і епюра тиску є головними чинниками, які визначають основні параметри контакту циліндрової зубчастої передачі. Змішане завдання теорії пружності зводиться до системи диференціальних рівнянь в приватних похідних.

Ключові слова: гідродинамічна теорія, контакт, зубчасті передачі, масляний шар, товщина, зазор, мікронерівності, епюра тиску

The decision of pin-hydrodynamic theory is considered at the contact of high-speed tyazhelonagruzhennykh of gear-wheels of heavy lathes, which consists in the joint decision of three

interdepending tasks hydrodynamic, pin and thermal – for a lubricating matter and attended evol'ventnykh surfaces. Practice of exploitation of gearings proved the real realization of the pin-hydrodynamic mode of friction convincingly, where thickness of lubricating layer considerably excels the heights of mikronerovnostey, it is experimentally well-proven that calculation longevity of gearings can be assured only at a certain betweenness by the thickness of oily layer and mikrogeometriy of contacting surfaces. The decisions of pin-hydrodynamic task are produced a numeral method, by successive imposition of decisions of hydrodynamic and resilient tasks to the receipt of convergenceresults at the defined values of operating parameters of form of gap between the attended evolventnymi surfaces and proper epure of distributing of pressure in an oily layer. A form of gap and epure of pressure are main factors which determine the basic parameters of contact of the cylindrical gearing. The mixed task of theory of resiliency is taken to the system of differential equalizations in partials.

Keywords: hydrodynamic theory, contact, gearings, oily layer, thickness, gap, mikronerovnosti, epure of pressure

Одним из важных направлений применения гидродинамической теории смазки является практическое использование разработок в тяжелых токарных станках, работающих на высоких скоростях ($v=10-15$ м/с) и высоких нагрузках.

Первую попытку применить гидродинамическую теорию смазки для расчета цилиндрических поверхностей с большой разностью радиусов сделал Г. М. Мартин. Позже этой же задачей занимался А. М. Эртель, Н. А. Слезкин [1, 2], Пеплер и др. Их работы были основаны на так называемой классической гидродинамической теории смазки. В них предполагалось, что: поверхности трения не деформируются (абсолютно жесткие); вязкость масла является постоянной во всей области трения.

В результате применения этих исследований для анализа работы передач и подшипников качения были получены столь малые толщины смазочного слоя, что возникли даже сомнения в возможности существования жидкостного трения. Стремясь приблизить теорию и расчет к практике эксплуатации соответствующих деталей, А. Н. Грубин, А. Камерон, Е. Ивен и Е. Гаткомб начали учитывать зависимость вязкости масла от давления, но не учитывали деформации поверхностей. Академик П. Л. Капица [1, 2] впервые применил классическую гидродинамическую теорию смазки к расчету поверхностей с двойной кривизной (качение шарика по беговой дорожке), при этом он учел влияние зависимости вязкости масла от давления. Эту же задачу решил М. В. Коровчинский.

В контактно-гидродинамической теории не учитывалось неньютоновское поведение жидкости. Ньютоновской называют жидкость, у которой касательное напряжение сдвига τ прямо пропорционально градиенту скорости деформации $\frac{\delta u}{\delta y}$, и коэффициент пропорциональности, именуемый вязкостью μ , является функцией давления k_0 и температуры T , но не зависит ни от скорости движения, ни от градиента скорости движения масла: $\tau = \mu(k_0, T) \frac{\delta u}{\delta y}$.

Неньютоновской называют жидкость, у которой зависимость касательного напряжения сдвига от градиента скорости сдвига **более** сложная. В этом слу-

чае целесообразно по аналогии с ньютоновской жидкостью выражать касательное напряжение в виде

$$\tau = \mu_{эф} \left(k_0, T, u, \frac{\delta u}{\delta y} \right) \frac{\delta u}{\delta y}$$

где коэффициент пропорциональности уже зависит от скорости и градиента скорости. Нельзя говорить о неньютоновской жидкости без упоминания о релаксации – процессе возвращения системы в состояние термодинамического равновесия после выведения его из этого состояния. Время релаксации имеет существенное значение для неньютоновских жидкостей. Как известно, это время, в течение которого отклонение какого-либо параметра системы от его равновесного значения уменьшается в e раз [1, 2]. В связи с тем, что основной расчетной величиной, определяющей контактно-гидродинамический режим работы зубчатых колес, является толщина и форма смазочного слоя, значительный интерес представляет сравнение экспериментально измеренных толщин смазочного слоя с теоретически рассчитанными. Основными причинами выхода зубчатых передач из строя являются: поломка зубьев, выкрашивание активных поверхностей и отслаивание поверхностных слоев зубьев, абразивный износ зубьев, пластические деформации зубьев и заедание.

При проектировании зубчатых передач необходимо учитывать основные положения контактно-гидродинамической теории контактирования зубчатых колес, которая заключается в совместном решении трех зависящих друг от друга задач: гидродинамической, контактной и тепловой – для смазочного вещества и сопрягаемых эвольвентных поверхностей и обеспечить уменьшение величины износа зубьев, применять колеса с высокой твердостью активных поверхностей зубьев [3, 4], в том числе зубчатых колес с твердыми поверхностями зубьев, выбор геометрии зацепления, при которой достигается уменьшение скорости скольжения зубьев; уменьшение шероховатости поверхностей зубьев; применение уплотнений, предупреждающих попадание в смазку абразивных частиц, и постановку фильтров для очистки масла.

Решения контактно-гидродинамической задачи производятся численным методом, путем последовательного наложения решений гидродинамической и упругой задач до получения сходимости результатов при определенных значениях рабочих параметров формы зазора между сопрягаемыми эвольвентными поверхностями и соответствующей эпюры распределения давления в масляном слое. Именно форма зазора и эпюра давления являются главными факторами, которые определяют основные параметры контактирования цилиндрической зубчатой передачи. Смешанная задача теории упругости сводится к системе дифференциальных уравнений в частных производных.

Список литературы: 1. Решетов, Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1974. – 556 с. 2. Петрусевич, А. И. Контактная прочность деталей машин / А. И. Петрусевич. – М., 1969. – 242 с. 3. Технологические особенности обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес [Текст] / Н.В. Кравцов, Ю.В. Тимофеев, А.А.Клочко [и др.]; Науч. ред. А.А.Пермяков; ВолГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 254 с., ил., табл.; - (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю.М. Соломенцев), ISBN 978-59903090-6-7. 4. Масляная СОЖ при зубообработке: эффективность и перспективы их применения. Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов / Е. В. Мироненко, А. Г. Суслов, А. А. Клочко [и др.] // Международный информационно-технический журнал. – Харьков, 2008. – № 5. – С. 70–73.

ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО СТАНКОСТРОЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
Ивкин В.В., Руднев А.В., магистр педагогики высшей школы
(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)
Аракелян А.А., магистр инженерной механики
(ООО GEVORKYAN, г. Банска-Быстрица, Словакия)

Представлена розробка модернізації популярних в механообробній промисловості кругло- і плоскошлифовального верстатів та визначено верстатобудівні підприємства потенційної первоочередной зацікавленості у її використанні.

Ключові слова: алмазно-іскрове шліфування, модернізація верстатів.

Представлена разработка модернизации популярных в механообрабатывающей промышленности кругло- и плоскошлифовального станков и определены станкостроительные предприятия потенциальной первоочередной заинтересованности в ее использовании.

Ключевые слова: алмазно-искровое шлифование, модернизация станков.

It is presented the development of modernization of the cylindrical and surface grinders which are popular in machining processing industries, and there are defined the machine tool enterprises with potential priority interest in its using.

Keywords: diamond-spark grinding, modernization of machines.

Создание новых и модернизация существующих станков на нынешнем этапе исследования и развития разработанного в Харьковском политехническом институте метода алмазно-искрового шлифования (АИШ) не утратили актуальности [1].

В трудный для науки и промышленности Украины современный период, связанный с мировым экономическим кризисом и обостренным вовлечением страны в геополитические противостояния с региональным театром военных действий на собственной территории, научные исследования и освоение метода промышленностью почти прекратились, он остается в постоянной практике немногих отечественных предприятий, а предприятия-производители начальных партий специальных станков для реализации метода [2], кроме Мукачевского станкозавода, ныне выпускающего лишь точно- и обдирочно-шлифовальные станки, находятся за пределами Украины.

Преодолению этой ограниченности через формирование и донесение до потенциальных потребителей в реальном секторе экономики технологических основ и инвестиционной привлекательности АИШ в контексте вызовов современности, совместно с разработкой предложений по модернизации существующих универсальных станков для его реализации, посвящен цикл выполненных в НТУ «ХПИ» в 2013-2016 гг. и представляемых авторами прикладных исследований.

В конвенциональных подходах к организационно-техническому обеспечению операций АИШ подводом в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов, как в специальном станкостроении, так и при специальной модернизации универсального оборудования его потребителями, предусматривается электроизоляция шпинделя станка. При этом в базовую конструкцию вводятся новые (нетокопроводные) элементы (детали), обычно из текстолита, служащие барьером электрическому току в функционально запрещенных направлениях (на корпус станка).

Альтернативой объемно-массивной текстолитовой изоляции, преследующей цель снижения конструктивно-сборочной сложности модернизированного шпиндельного узла, повышения надежности его жесткости и точности, является применение специально разработанных диэлектрических покрытий, наносимых на прочную основу базовых стальных деталей (элементов) узла, конструктивно требующих электроизоляции.

Приспособляемость конструкции шлифовальных станков к использованию в технологиях АИШ предлагается обеспечивать в результате нанесения на посадочные для инструмента поверхности стальной основы планшайбы специально разработанных диэлектрических покрытий на основе семейства эпоксидно-диановых смол [3].

Износостойкость обеспечивается введением диэлектрических порошков триоксида алюминия Al_2O_3 или диоксида кремния SiO_2 с возможным варьированием массовой доли как диэлектрических порошков, так и эпоксидных групп.

Композицию получают путем смешивания эпоксидно-диановой смолы и бутилглицидилового эфира с последовательным введением в смесь диэлектрического наполнителя (Al_2O_3 или SiO_2), полиметилсилоксана и полиметилфенилоксана. Отвердитель – моно-N-(-цианэтил)-диэтилентриамин – вводят непосредственно перед использованием. Покрытие наносят на поверхность с помощью щетки в 2-3 приема. Минимальное время отвердевания одного слоя покрытия – 7 часов. Время выдержки после нанесения последнего слоя – 24 часа. После затвердевания деталь с покрытием обрабатывают механическим способом до заданных размеров с требуемой точностью.

По результатам сравнительных испытаний износостойкость композитного покрытия на основе эпоксидно-диановой смолы, например, с 20 % содержанием массовой доли эпоксидных групп и 30 мас. % Al_2O_3 – на 60-70% выше, чем у такого же, но без алюмооксидного порошкового наполнителя. Износостойкость оценивалась на приборе, в котором изнашивание поверхности осуществлялось шлифовальной бумагой, закрепленной на наконечнике, вращающемся относительно неподвижной плоскости образцов. При этом наблюдается полуторакратное превышение твердости ($H_v = 204$ МПа, по Виккерсу) и прочности на сжатие ($\sigma_{сж} = 135$ МПа). Удельное электрическое сопротивление разработанного покрытия $\rho = 1014$ Ом·м. Таким образом, в сочетании с высоким

уровнем необходимой противозлектрической защиты отдельных элементов станочно-инструментальных систем шлифования, применение разработанных покрытий повышенной износостойкости позволяет эффективно расширять технологические возможности таких систем успешной реализацией АИШ и других электрофизикохимических технологий.

Разработка защищена патентом Украины на полезную модель [4].

Разработанные износостойкие электроизоляционные покрытия предлагаются предприятиям станкоинструментальной отрасли, производящим шлифовальные станки, для развития их универсализации в направлении потенциального использования потребителем в электрофизических технологиях АИШ. Рыночная привлекательность адаптации станков для АИШ в условиях производств-изготовителей, в том числе с использованием предложенных электроизоляционных износостойких покрытий на основе эпоксидно-диановых смол, мотивируется созданием конструктивно решающих предпосылок для организации потребителем станка АИШ и других электрофизикохимических технологий, поскольку последующие модернизационные мероприятия (включение в станочную систему источника-генератора технологического тока и обеспечение токоподвода в зону резания) уже не требуют вмешательства в формообразующую точность шлифовальных станков, обеспеченную в станкостроительной промышленности.

Базовыми моделями в исследовании и развитии метода АИШ для практической реализации на универсальных кругло- и плоскошлифовальных станках, в том числе путем разработки и передачи потребителям соответствующей конструкторской документации (КД), в НТУ «ХПИ» приняты популярные в механообрабатывающих отраслях промышленности станки соответственно модели ЗБ12, предназначенный для шлифования наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, и модели ЗГ71, предназначенный для высокоточного шлифования плоских поверхностей периферией круга. Следуя технологической идее метода АИШ, конструкторская модернизация затрагивает шпиндельные узлы станков – токозащита корпуса станка при включении в электрическую цепь токоподвода в зону резания инструмента, установочные места которого на планшайбе и участок контакта на внешнем фланце защищены специальной электроизоляцией, и организация места закрепления защищенного специальными крышкой и колпаком щеточного контактного устройства, заключающего анодный вывод от генератора электрической, а также место расположения устройства для закрепления проводного контакта, заключающего катодный вывод от того же генератора на включение заготовки в эту электрическую цепь через защищенный специальным кожухом узел токоподвода к ее посадочному месту.

Современный пакет КД на модернизацию для практической реализации АИШ универсального кругло-/плоскошлифовального станка включает 20/14 чертежей, в том числе 4/2 сборочных.

Помимо объектов прямого применения для модернизации в условиях механообрабатывающих предприятий, выполненная разработка может быть также предметом неисключительной лицензии в первую очередь предприятиям-производителям с теми же базовыми моделями станков – армянскому АООТ «Шлифстанок», литовскому АО «Вингряй» (модель 3Б12 и последующая ее литовская модификация с незначительным усовершенствованием эстетического вида, эргономики и системы ручного управления станком – модель 3U12RA), беларусскому ОАО Станкозавод «Красный борец» в составе холдинга «Белстанкоинструмент» (модель 3Д711АФ – ближайший конструктивный аналог модели 3Г71).

Выполненная разработка предоставляет этим предприятиям (АООТ «Шлифстанок», АО «Вингряй», холдинг «Белстанкоинструмент») возможность конструкторски обеспеченного развития модельного ряда выпускаемого оборудования, расширения его технологических возможностей, в том числе поставкой по специальному заказу за отдельную плату вместе со станком соответствующей модернизационной оснастки, и (или) предоставления потребителям выпускаемых станков разработанных в НТУ «ХПИ» спецификаций и чертежей этой модернизации, в том числе их включением в состав руководств по эксплуатации.

Станки для осуществления метода АИШ отвечают заинтересованности как их производителей в рыночно привлекательной продукции, так и их потребителей – реализаторов присущих методу энергоэффективных производственных технологий высококачественной обработки.

Список литературы: 1. Гуцаленко Ю. Г. Современные подходы к организации и реализации технических систем и технологий алмазно-искрового шлифования / Ю. Г. Гуцаленко, К. Янку // Физические и компьютерные технологии : Тр. 21-й междунар. науч.-практ. конф. 24-25 дек. 2015 г., г. Харьков. – Днепропетровск : Изд-во «Лира», 2015. – С. 29-38. 2. Гуцаленко Ю. Г. Алмазно-искровое шлифование : обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания / Ю. Г. Гуцаленко // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : Тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков : ГП ХМЗ «ФЭД», 2012. – С. 79-88. 3. Гуцаленко Ю. Г. Станкоинструментальные электроизоляционные покрытия поддержки алмазно-искрового шлифования / Ю. Г. Гуцаленко, В. В. Ивкин, А. В. Руднев, Е. К. Севидова, И. И. Степанова // Високі технології в машинобудуванні [ISSN 2078-7677]. – 2015. – Вип. 1 (25). – С. 59-63. 4. Гуцаленко Ю. Г. Композиція для електроізоляційних зносостійких покриттів : патент на корисну модель № 92786 Україна : МПК С08L 63/02 (2006.01), С08J 5/16 (2006.01) / Ю. Г. Гуцаленко, В. В. Івкін, О. В. Руднів, О. К. Севидова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № у 201315441; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17.

ЛОКАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ РАСШИРЕННОЙ АДАПТАЦИИ К АЛМАЗНО-ИСКРОВОМУ ШЛИФОВАНИЮ

¹Гуцаленко Ю.Г., ²Янку К.Г., докт. техн. наук, проф.,

¹Севидова Е.К., канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,

¹Степанова И.И., канд. техн. наук, доц.

(¹Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина;

²Университет "Константин Бранкузи", г. Тыргу-Жиу, Румыния)

Представлена розробка локальних електроізоляційних захисних покриттів інструмента технологій високоточної продуктивної обробки з введенням в зону різання енергії електричних розрядів підтримки працездатності шліфувальних кругів з алмазно-металевої композицією робочої частини.

Ключові слова: алмазно-іскрове шліфування, модернізація інструментів.

Представлена разработка локальных электроизоляционных защитных покрытий инструмента технологий высокоточной производительной обработки с введением в зону резания энергии электрических разрядов поддержки работоспособности шлифовальных кругов с алмазно-металлической композицией рабочей части.

Ключевые слова: алмазно-искровое шлифование, модернизация инструментов.

It is presented the development of local electrically insulating coatings for tool of the technologies of high-efficient processing with the introduction the energy of electrical discharges into the cutting zone to maintain a working capacity of grinding wheels with diamond-metal composition of the working part.

Keywords: diamond-spark grinding, modernization of tools.

В известных подходах к адаптации технических систем шлифования к АИШ алмазно-абразивный инструмент как объект барьерных технических решений, обеспечивающих нетокопроводность его контакту с посадочным местом на металлической планшайбе станка, до анонсированного авторского отечественного патента на полезную модель [1] и первой с межгосударственным представительством работы [2], ни в Украине, ни за ее пределами не рассматривался ни в исследовательской, ни в производственной практике.

Инверсия задачи электроизоляции корпуса алмазного шлифовального круга, стального или алюминиевого, от установочных поверхностей инструментального шпинделя инновационным решением инструмента может быть решена с использованием универсальных диэлектрических покрытий металлических поверхностей, например, на эпоксидной основе, в том числе повышенной износостойкости благодаря включению в эпоксидную матрицу диэлектрического порошка триоксида алюминия, опыт успешного применения которых в организации станкоинструментальных технологий с введением в зону обработки дополнительной энергии электрических разрядов известен и по опытно-

экспериментальной исследовательской, и по модернизационной промышленной практике.

Рассматриваемый подход реализуется электроизоляционной поверхностной инженерией установочно-контактных поверхностей корпуса инструмента, т.е. в общем случае полного решения задачи – цилиндрической посадочного отверстия и примыкающих к ней торцевых, с перекрытием зон контакта по ним в радиальных направлениях. Например, при позиционировании инструмента на заточных станках, ограниченных радиальными габаритами шлифовальной оправки (по опорному буртику) и сопрягаемого с ней с рабочей стороны инструмента крепежного резьбового фланца. При этом токоподвод на рабочую поверхность инструмента может осуществляться посредством обычного щеточного контакта через свободные от электроизоляционного покрытия поверхности его металлического корпуса или непосредственно алмазно-металлическую композицию рабочей части шлифовального круга.

В общей традиционной практике изготовления токопроводных корпусов алмазных абразивных инструментов применяют алюминий (прокат и литье) и стали (конструкционные и легированные). При этом по эксплуатационным массо-динамическим преимуществам алюминиевый выбор доминирует.

Мировая практика износостойкой и, одновременно, диэлектрической защиты поверхностей алюминиевых сплавов связана с анодно-искровыми покрытиями микродуговым оксидированием (МДО), известным также как ANOF (Anodishen Oxidation unter Funkenentladung) в Германии, ASD (Anodic Spark Deposition) в США, Европе и Китае, PEO (Plasma Electrolytic Oxidation) и ПЕО (плазмово-электролитне оксидування) соответственно в Великобритании и Украине.

В передовой практике электроразрядной природы микродуговой активацией поверхностного окисления алюминиевых материалов формируют оксидную пленочную защиту толщиной до 400 мкм, выдерживающую тепловой удар до 2500 °С, с пробойным напряжением до 6000 В, микротвердостью до 25 ГПа и износостойкостью на уровне твердых сплавов. Как правило, в известных применениях в первую очередь используются износостойкие, коррозионно-стойкие и теплостойкие свойства таких покрытий, что позволяет повысить соответствующие эксплуатационные показатели в 1,5-2,5 раза.

Применение алюмооксидных покрытий в качестве диэлектрических известно в меньшей степени, хотя исследовательская практика свидетельствует об их высоких диэлектрических параметрах, приближающих к диэлектрикам высшего качества. В частности, с удельным электрическим сопротивлением алюмооксидного покрытия, сформированного на алюминии марки АД0, порядка $1 \dots 2 \cdot 10^{13}$ Ом·м и выше.

В отечественных и российских алюминиевых технологиях корпусов алмазных абразивных инструментов наиболее распространено применение сплава АК6 (или 1360) по ГОСТ 4784–97. Это соответствует и современной практике

ПАТ «Полтавский алмазный инструмент» – национального лидера в производстве алмазно-абразивных инструментов, помимо АК6 в корпусах шлифовальных кругов применяющего также алюминиевые сплавы А8, АК5М2 и другие, в том числе имеющие стандартные зарубежные аналоги в США, Японии, Великобритании, Франции, Италии, Польше, Чехии, а также в других странах и в Евросоюзе в целом. Наличие многочисленных зарубежных аналогов сплаву АК6 свидетельствует о патентно-лицензионной перспективности инновационных разработок связанных с ним технологий функциональных покрытий.

Оксидные покрытия на алюминиевом сплаве АК6 формировали в алюминатном электролите при напряжении 250-300 В. Толщина покрытий по поверхности составляла 100...120 мкм.

После анодирования образцы подвергали кипячению в дистиллированной воде в течение 30 минут с целью уменьшения открытой пористости за счет гидратации оксидной пленки.

По результатам тераомметрических измерений установлено, что удельное электрическое сопротивление сформированного покрытия составило примерно $1,2 \cdot 10^{12}$ Ом·м, а пробивное напряжение – свыше 1000 В (в режиме испытаний с нагружением испытываемого электроизоляционного слоя приложением напряжения до 1 кВ пробой не наблюдался).

В необходимых случаях предложенные покрытия механически обрабатываются для доводки посадочного отверстия шлифовального круга до нужного размера и заданной точности. Перед операцией МДО-модернизации шлифовального круга альтернативно тонкой доводочной послеоперационной механической обработке может быть выполнено предварительное расшлифовывание его посадочного отверстия с учетом поверхностного приращения исходного тела с алюминиевой основой в оксидированном объеме и, соответственного изменения (увеличения) его линейной размерной характеристики в направлении толщины оксидного покрытия. Принимая во внимание результаты также проведенных в НТУ «ХПИ» исследований (В. В. Белозеров и др.), при этом следует исходить из ожидания линейного приращения сформировавшегося алюмооксидного покрытия на 20-25 % от прореагировавшей толщи алюминиевой основы.

В технологическом маршруте изготовления алмазных кругов операция анодного оксидирования должна выполняться до напрессовки на корпус алмазноносного слоя, чтобы обезопасить этот слой от преждевременных электрофизикохимических повреждений. Для бездефектной МДО-модернизации традиционных алмазных чашечных кругов в условиях потребителя предложена специальная оснастка круга перед погружением в емкость оксидирования, исключаящая алмазно-металлическую композицию рабочей части шлифовального круга из электрической цепи МДО.

Основным недостатком МДО-покрытия как электроизоляционного является ухудшение его диэлектрических свойств со временем, особенно при вы-

держке во влажном воздухе. Аналогичная среда может возникать также в условиях шлифования с использованием охлаждающе-смазочных жидкостей. Снижение диэлектричности происходит из-за пористости покрытия и его насыщения парами воды или раствором электролита. К сожалению, получить такие покрытия абсолютно без пор невозможно, поскольку это обусловлено сущностью самого процесса МДО, но можно минимизировать их количество за счет оптимизации технологических параметров.

Более радикальный эффект достижим при обработке поверхности МДО-покрытий полимерными материалами. Установлено, что насыщение поверхностной пористости МДО-покрытий низковязкостной композицией на основе винилхлорида позволяет в несколько раз повысить характеристики диэлектрической защиты и их устойчивость во влажной среде. Способ запатентован [3].

Разрабатываемый в НТУ «ХПИ» конструктивно-технологический подход к проектированию и производству алмазных шлифовальных кругов с локальной электроизоляцией для их расширенной адаптации к АИШ не требует передела шпиндельного узла универсального станка его потребителем или производителем. Это особенно важно для расширения технологических возможностей универсальных шлифовальных станков включением в станочную систему источника-генератора технологического тока и обеспечением токоподвода в зону резания в условиях механообрабатывающих производств, так как адаптированный к АИШ инструмент не требует передела шпиндельного узла универсального станка с вмешательством в его формообразующую точность, обеспеченную в станкостроительной промышленности.

Разработка алмазных шлифовальных кругов с локальной электроизоляцией для их расширенной адаптации к АИШ преимущественно ориентирована на безводные операции шлифования, в том числе с сухой смазкой, тем самым на бережливость водных ресурсов, что соответствует мировой тенденции создания и эксплуатации технологий повышенной экологичности, характерной развитым экономикам и современному им шестому технологическому укладу.

Список литературы: 1. *Гуцаленко Ю. Г.* Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 96568 Україна: МПК (2006.01) B24D 3/06 / *Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, І. І. Степанова*; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u 201409394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3. 2. *Гуцаленко Ю. Г.* Современные подходы к организации и реализации технических систем и технологий алмазно-искрового шлифования / *Ю. Г. Гуцаленко, К. Янку* // Физические и компьютерные технологии : Тр. 21-й междунар. науч.-практ. конф. 24-25 дек. 2015 г., г. Харьков. – Днепропетровск : Изд-во «Ли́ра», 2015. – С. 29-38. 3. *Севидова О. К.* Спосіб формування зносостійких електроізоляційних покриттів на сплавах алюмінію та титану : патент на корисну модель № 111473 Україна : МПК (2016.01) C25D 11/00, C25D 11/04 (2006.01), C25D 3/54 (2006.01) / *О. К. Севидова, І. І. Степанова, Ю. Г. Гуцаленко, К. М. Алексєєв*; власник : Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № u 2016 05063; заявл. 06.05.2016; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 21.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Лавриненко В.И., докт. техн. наук, проф., **Сытник Б.В.**

(Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина)

Солод В.Ю., канд. техн. наук, **Музичка Д.Г.**, канд. техн. наук, **Поизд И.Н.**

(Днепропетровский государственный технический университет, Каменское, Украина)

Рассмотрены технологические (способы шлифования) и инструментальные (характеристика рабочего слоя) факторы, которые влияют на параметры шероховатости обработанной поверхности при алмазном шлифовании.

Ключевые слова: шероховатость, алмазное шлифование.

Розглянуті технологічні (способи шліфування) та інструментальні (характеристика робочого шару) фактори, які впливають на параметри шорсткості оброблюваної поверхні при алмазному шліфуванні.

Ключові слова: шорсткість, алмазне шліфування.

The technological (grinding methods) and tool (the characteristic of the working layer) factors that affect the parameters of the machined surface roughness while diamond grinding have been considered.

Keywords: roughness, diamond grinding.

Шероховатость обработанной поверхности формируется абразивными зёрнами и естественно, что ее величина определяется во многом характеристикой шлифовальных кругов. Влияние характеристики шлифовального круга из СТМ на шероховатость обработанной ими поверхности рассмотрено нами для условий торцового шлифования инструментальных материалов.

Установлено, что с повышением показателя прочности алмазов (от АС2 до АС32) в кругах шероховатость поверхности изменяется мало, хотя наблюдается тенденция к ее возрастанию.

Покрытие зёрен СТМ оказывает значительно большее влияние на шероховатость, чем прочность зёрен. Изучались такие варианты нанесения покрытий: стеклопокрытие (С), металлопокрытие (М), стеклометаллическое (СМ), металлоагрегированное (МА). Исследования позволили сделать однозначный вывод: *любое покрытие зёрен СТМ приводит к повышению высотных параметров.* Это в одинаковой степени относится как к кругам на металлических связках, так и на полимерных. В целом, можно представить влияние покрытия зёрен на шероховатость в следующем ряду (по степени повышения значений сравнительных коэффициентов высотного параметра Ra): *без покрытия (1,0) → МА (1,6) → С (1,8) → СМ (2,0) → М (2,2).*

Зернистость шлифпорошка зёрен СТМ при формировании шероховатости играет важную роль, однако ее влияние не является однозначным и в значительной степени зависит от способа шлифования и состояния формы профиля режущей поверхности круга. Для способов шлифования с продольной подачей

это связано с описанным нами выше образованием треугольной формы профиля режущей поверхности круга в радиальном направлении, при котором обрабатываемая поверхность формируется зернами, находящимися на вершине профиля и их зернистость при этом в диапазоне от 63/50 до 160/125 не имеет принципиального значения. В случае наличия на поверхности круга переходного кругового пояса, параллельного обрабатываемой поверхности, и при упругих способах торцового шлифования (когда площадь режущей поверхности круга остается параллельной обрабатываемой) зернистость СТМ имеет уже большее значение и с ее повышением растет высота микронеровностей обработанной поверхности (табл. 1).

Таблица 1

Эксплуатационные показатели алмазных планшайб при упругом шлифовании пластин на станке ТШ8805

Характеристика круга 6А2 400x100x3x76	Производительность шлифования, мм ³ /мин	Относительный расход алмазов, мг/г	Шероховатость поверхности пластин, Ra, мкм
Оксидно-карбидная керамика ВОК60			
АСМ 28/20–СК6–100	194	24,65	0,04–0,08
АСМ 40/28–СК6–100	484	27,92	0,05–0,08
АС6 50/40–СК6–100	793	7,90	0,13–0,14
АС6 63/50–СК6–100	1060	9,21	0,10–0,18
АС6 80/63–СК6–100	1103	–	0,07–0,16
АС6 160/125–СК6–100	2585	–	0,18–0,21
Безвольфрамовый твердый сплав ТН20			
АС6 63/50–СК6–100	958	15,34	0,10–0,16
АС6 80/63–СК6–100	1075	12,07	0,08–0,16
АС6 160/125–СК6–100	1559	–	0,15–0,26

Обратим внимание на то, что для условий упругого шлифования имеются и определенные особенности. Анализ табл. 1 показывает, что разная зернистость алмазов обеспечивает и разную производительность обработки, что, в свою очередь, влияет и на шероховатость обработанной поверхности, нивелируя ее в определенном отношении для близких зернистостей.

С повышением относительной концентрации зерен шлифпорошка СТМ в режущем слое круга от 25 до 100% высотные параметры шероховатости поверхности снижаются и после 100% несколько стабилизируются, а, в случае использования металлополимерных связей, с повышением концентрации за 100% высотные параметры даже повышаются (табл. 2).

Из анализа табл. 2 угадывается тенденция к снижению шага неровностей профиля и возрастанию его заполненности при повышении концентрации (см. строки 1 та 3 табл. 2). Это объясняется тем, что при концентрациях меньших 100% шероховатость повышается из-за снижения количества зерен, формирующих поверхность, и снижения их фактической глубины резания. А вот с по-

вышением концентрации за 100% связка становится более твердой, вероятность вжатия зерен в связку снижается, и следы от единичных зерен становятся более глубокими. Данная алогичность поведения шероховатости с повышением относительной концентрации СТМ за 100% подтверждает наше предположение о том, что для той части зерен, которые наклонены не навстречу направлению действия усилия резания, участие в съеме припуска является несущественным и увеличение количества зерен с повышением концентрации не вносит позитивного влияния на шероховатость. Установлено также (см. табл. 2, строка 2), что введение в связку, наряду с зернами средней величины, зерен малых фракций не только не приводит к снижению шероховатости, а наоборот, ухудшает ее.

Таблица 2

Влияние концентрации алмазов АС4 с покрытием МА в кругах на полимерной связке ВС-Э на показатели шероховатости при электрохимическом шлифовании сплава ТН20 с производительностью 525 мм³/мин

Характеристика круга	Показатели шероховатости			
	<i>Ra</i> , мкм	<i>Rmax</i> , мкм	<i>Sm</i> , мкм	<i>t50</i> , %
100/80–100	0,36	2,75	136	46,3
(100/80–100)+(50/40–25)	0,63	2,99	323	38,6
100/80–150	0,40	3,29	115	84,9

Основа связки кругов ощутимо влияет на шероховатость, поскольку свойства матрицы, в которой находится зерно, определяют условия его контактирования с обрабатываемым материалом. Более твердая и жесткая матрица обеспечивает и более высокую шероховатость поверхности, на что уже было указано выше при анализе влияния концентрации зерен СТМ. Установлено, что в большинстве случаев при использовании более эластичных полимерных связок, в сравнении с металлическими и керамическими, шероховатость снижается в 2,0–2,4 раза. Однако есть и исключения. Указанная выше тенденция не подтверждается при шлифовании незакаленной стали кругами из КНБ. Выявлено, что в этом случае наименьшая шероховатость наблюдается при шлифовании кругом на металлической связке (в данном случае – МО20-2). Использование полимерной связки не снижает, как бы это следовало ожидать, значения параметра *Ra*, а, наоборот, повышает. Это связано с более интенсивным износом кругов на полимерных связках при шлифовании незакаленной стали. Вследствие этого, выступание зерен является большим, однако относительные опорные длины профиля микронеровностей для двух указанных связок при этом отличаются мало. В связи с этим, обращено внимание на то, что при электроэрозионном шлифовании с повышением напряжения от 30 до 55 В шероховатость по параметру *Ra* возрастает от 0,34 до 0,75 мкм, а относительная опорная кривая профиля практически не изменяется. Это позволило нам выдвинуть гипотезу о том, что большее вскрытие зерен СТМ не влияет на распределение зерен

в режущем слое (опорную кривую), а влияет только на их выступание над связкой.

Как видим, наиболее существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает характеристика зерен СТМ: зернистость и покрытие зерен, а далее – основа и свойства связки круга, которая удерживает зерна.

Вместе с тем, опыт промышленной эксплуатации изделий показывает, что для разных условий их применения необходимо контролировать не один, например указанный выше Ra , а несколько параметров шероховатости контактирующих поверхностей, например шаговый параметр Sm . Анализ полученных нами зависимостей подтверждает то, что преимущественно шаг микронеровностей Sm повышается с возрастанием параметра Ra . При этом, характер такого роста зависит от способа обработки и в определенной степени – от обрабатываемого материала. Установлено, что способы шлифования по степени повышения величины шага микронеровностей Sm располагаются в следующей последовательности:

упругий → глубинный → врезной.

Сравнение способов многопроходного и глубинного шлифования показывает, что в первом случае шаг неровностей больший, чем во втором. Однако в целом, выявлено, что с ростом параметра Ra параметр Sm увеличивается. Эта тенденция превалирует.

Кроме того, важно обратить внимание и на влияние свойств обрабатываемых материалов на шероховатость обработанной поверхности. Так нами это показано для твердых сплавов, где установлено, что шероховатость шлифованной поверхности твердых сплавов имеет определенную корреляционную связь с их физическими свойствами. Так, с возрастанием соответственно плотности и коэрцитивной силы твердых сплавов шероховатость увеличивается:

$$Ra = 1 / (2,204 + 5,87 \cdot 10^5 e^{-\rho}), \quad Ra = 0,208 + 1,068 \cdot 10^{-2} K_c.$$

С повышением соответственно твердости, прочности при изгибе и величины зерен карбидной фазы шероховатость снижается:

$$Ra = 3,72 - 3,74 \cdot 10^{-2} H_{mc}, \quad Ra = 0,4004 - 1,96 \cdot 10^{-5} R_{bm}, \quad Ra = 0,555 - 0,146 \cdot Z_{mc}.$$

Приведенные зависимости позволяют в целом прогнозировать направление изменения показателя шероховатости шлифуемой поверхности, особенно в тех случаях, когда обрабатывается широкая номенклатура сплавов в условиях мелкосерийного производства.

Таким образом, мы видим, что в зависимости от характеристики рабочего слоя алмазно-абразивного инструмента, а также способа обработки имеется возможность получать самую разную шероховатую поверхность и регулировать ее так, как необходимо инженеру-технологу для обеспечения необходимых функций обработанной поверхности той детали, которую необходимо обработать.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ШЛИФОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ КРУГАМИ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Лавриненко В.И., докт. техн. наук, проф.,
Скрябин В.В., канд. техн. наук, **Скрябин В.А.**

(Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина)

Солод В.Ю., канд. техн. наук, **Панарин В.В.**

(Днепродзержинский государственный технический университет, Каменское, Украина)

Рассмотрены эффективные технологические процессы шлифования инструментальных и быстрорежущих сталей кругами из кубического нитрида бора, в том числе со специальной характеристикой рабочего слоя.

Ключевые слова: *шлифование, инструментальные стали, круги из КНБ.*

Розглянуто ефективні технологічні процеси шліфування інструментальних та швидкорізальних сталей кругами з кубічного нітриду бору, також і зі спеціальною характеристикою робочого шару.

Ключові слова: *шліфування, інструментальні сталі, круги з КНБ.*

Effective manufacturing processes of tool and high speed steels grinding with wheels of cubic boron nitride, including the special characteristic of a working layer have been considered.

Keywords: *grinding, of tool steels, wheels of cBN.*

Доля стальных инструментов для обработки резанием в Украине и странах СНГ составляет от 70 до 75 % от общего количества инструментальных материалов, остальное твердые сплавы, режущая керамика и СТМ. Наряду с режущими, существует большая группа инструментов в виде штампов, пресс-форм, слесарно-монтажных, измерительных и др. Общий ее объем составляет до 80–95 %, а потребность в сталях для них в 5–6 раз больше, чем быстрорежущих. Для повышения прочности и улучшения большинства других характеристик сталей используют легирование: в СНГ – марганцем, никелем, хромом, в США – молибденом, ниобием, ванадием. Последнее время азот наряду с углеродом играет роль упрочнителя твердого раствора и, в значительной степени, выступает в качестве заменителя никеля. Состав сталей влияет на их свойства и их обрабатываемость, так увеличение содержания *Mo* приблизительно до 5% повышает их теплопроводность на 40–50%. Чем больше вольфрама содержит сталь, тем меньше его в твердом растворе и тем ниже ее теплопроводность [1].

Одним из вариантов повышения обрабатываемости быстрорежущих сталей – изготовление их методом порошковой металлургии. Порошковые стали имеют ряд преимуществ по сравнению со сталями традиционного способа производства, главные из них: повышенная технологическая пластичность, пониженная склонность к росту зерна аустенита, равномерное распределение мелкодисперсных карбидных фаз размером до 2–3 мкм, более высокий уровень твердости, прочности и красностойкости; улучшенная шлифуемость, сниженная

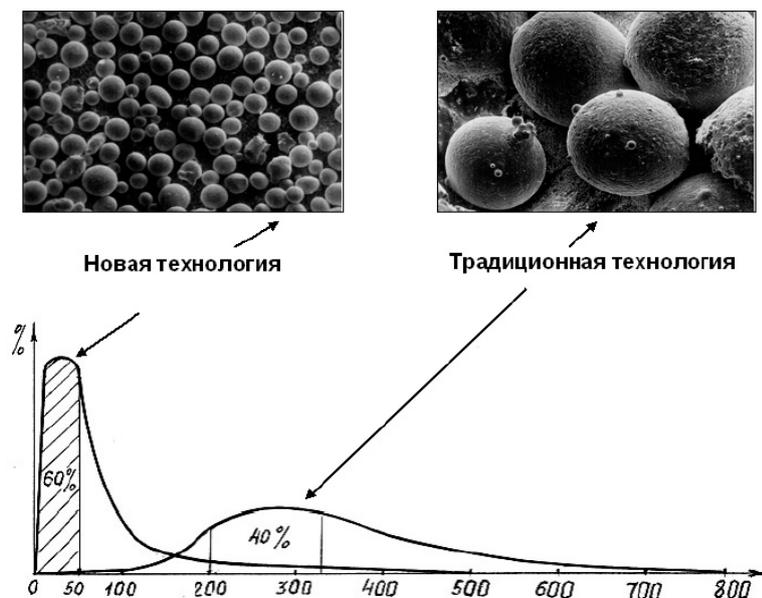


Рис. 1 – Дисперсность газораспыленного порошка из быстрорежущей стали типа Т15-РМ, полученной по новой технологии ГП „УкрНИИспецсталь” и традиционной технологией ОАО „Днепроспецсталь” [2]

склонность к изменению линейных размеров при термообработке; более высокая стойкость и износостойкость режущих инструментов. Для реализации преимуществ порошковых быстрорежущих сталей технология их производства должна обеспечивать высокое качество металла, а именно отсутствие или минимальное развитие дефектов, присущих методу порошковой металлургии. Главным условием при этом является высокое качество газораспыленного порошка, компактного металла, полученного мето-

дом горячего газостатического прессования капсул с порошком, и деформированного металла, полученного методомковки, прокатки, калибровки. Основные параметры качества распыленного порошка – однородность химического состава, низкое содержание кислорода (менее 0,02 %), минимизированная загрязненность неметаллическими включениями и „сторонними” частичками, а также дисперсность порошковых частичек. В УкрНИИспецстали разработана новая технология опытного производства мелкодисперсных газораспыленных порошков (содержание фракции < 50 мкм ~ 60 %) из специальных сталей и сплавов, в т.ч. быстрорежущих (рис. 1). При обработке деталей из жаропрочных и титановых сплавов стойкость инструментов из этих сталей повышается в 1,5–2,5 раза в сравнении с инструментами из аналогичных марок быстрорежущих сталей традиционного производства [2].

В Украине выпускаются также быстрорежущие стали с добавками карбида титана, например, Р6М5К5-КТ20 где 20% TiC , так называемые – карбидостали. Основное преимущество карбидосталей – наличие матричных карбидов стальной матрицы, высокая твердость при нагреве, незначительное изменение размеров при термообработке, возможность изготовления крупногабаритных заготовок, материал легче сталей на 12 %, твердых сплавов на 50 % [1].

Рассмотрим теперь вопросы обрабатываемости быстрорежущих сталей. Как было указано выше, реальные карбиды в структуре быстрорежущей стали имеют дефицит $\approx 15\%$ по углероду. Так, например, карбид вольфрама Fe_4W_2C имеет реальную формулу Fe_2W_2C , а карбид ванадия VC имеет реальный состав V_4C_3 . Недостаток атомов углерода приводит к интенсивному карбидообразованию в структуре поверхностного слоя сталей при алмазном шлифовании, а, затем, к интенсивному износу алмазных кругов. Для решения изложенной выше

проблемы в свое время и был создан сверхтвердый материал не имеющий природного аналога – кубический нитрид бора (КНБ), известный под торговыми марками: эльбор, кубонит, белбор, *cBN*. Использование кругов из КНБ позволяет значительно повысить качество обрабатываемого инструмента из быстрорежущих сталей а также снизить износ абразивных кругов.

Технологические процессы шлифования и заточки быстрорежущего инструмента кругами из КНБ (кубонита) в зависимости от наличия или отсутствия охлаждения имеют определенные особенности, изложенные нами ниже.

Рекомендации по процессам шлифования без охлаждения:

Последовательность операций. В технологическом процессе заточки быстрорежущего инструмента должна быть следующая последовательность – 1-я операция – заточка (зернистость кубонита 125/100) и 2-я операция – доводка (зернистость кубонита 63/50).

Типоразмеры кругов из кубонита. Наиболее приемлемыми являются следующие типоразмеры: 12А2-45° 150х10х5х32, 12А2-20° 150х10х2х32, 12А2-20° 125х10х2х32, 9А3 150х10х3х32.

Марка кубонита. Для заточки наиболее приемлема марка кубонита – КР (допускается КВ), для доводки возможно применение КР или КВ.

Покрытие зерен кубонита. Для обработки без охлаждения любое покрытие кубонитовых зерен будет неэффективным, так как при наличии покрытия возрастают усилия резания, температуры в зоне обработки и повышается шероховатость обработанной поверхности.

Зернистость кубонита. В случае необходимости съема больших припусков (большое затупление режущего инструмента) необходимо использовать зернистость кубонита – 160/125, в стандартных условиях заточки – 125/100, для доводки зернистость кубонита должна составлять – 63/50.

Связка круга. Применительно к обработке без охлаждения целесообразным является использование полимерных связок типа В2-08. Для кругов, где необходимо учитывать повышенную кромкостойкость, например, формы 12R4, целесообразным будет использование связки типа В1-13.

Концентрация кубонита. С повышением относительной концентрации кубонитовых зерен режущем слое круге от 25 до 100% высотные параметры шероховатости поверхности снижаются и после 100% несколько стабилизируются. С повышением концентрации за 100% связка становится более твердой и жесткой, следы от единичных зерен становятся более глубокими. Поэтому и для заточки и для доводки концентрация одинакова – 100%.

Режимы шлифования. Окружная скорость кругов из кубонита должна быть в пределах 15–20 м/с. Повышение скорости до 30 м/с нецелесообразно, так как при отсутствии охлаждения это приведет к повышению контактной температуры как при заточке, так и при доводке, что может в свою очередь привести к прижогам или сколам обрабатываемого инструмента. Глубина шлифования – 0,010–0,050 мм. Продольная подача – 0,5–2,0 м/мин.

Рекомендации по процессам шлифования с охлаждением:

Переход к обработке с охлаждением, позволяет повысить производительность обработки как минимум в 2 раза, снизить износ кругов из СТМ, как

минимум в 2 раза, при гарантированном повышении стойкости режущего инструмента в 1,3 раза. Обеспечивается это тем, что возможным становится использование кругов из кубонита на более износостойких и более высокопроизводительных металлополимерных и металлических связках, создается возможность повышения скорости вращения круга до 30 м/с и формирования условий получения более износостойкой обработанной поверхности инструмента. Становится возможным использование специальных многослойных кругов, которые позволяют 2 операции заточки и доводки совместить в одну и на одной операции сразу получить высококачественную поверхность.

Последовательность операций. При использовании стандартных кругов в технологическом процессе заточки быстрорежущего инструмента последовательность аналогична заточке без охлаждения.

Типоразмеры кругов из кубонита. Наиболее приемлемыми являются следующие типоразмеры: 12A2-45° 150x10x5x32, 12A2-20° 150x10x2x32, 12A2-20° 125x10x2x32, 9A3 150x10x3x32.

Марка кубонита. Для заточки наиболее приемлема марка кубонита – KB, для доводки возможно применение КР или KB.

Покрытие зерен кубонита. Возможно использование металлизированного стеклопокрытия кубонитовых зерен, хотя более приемлемым является использование кругов без покрытия зерен кубонита.

Зернистость кубонита. В случае необходимости съема больших припусков (большое затупление режущего инструмента) необходимо использовать зернистость кубонита – 160/125, в стандартных условиях заточки – 125/100, для доводки зернистость кубонита должна составлять – 63/50.

Связка круга. Возможным является использование металлополимерных связок типа В1-13, а для кругов, где необходимо учитывать повышенную кромкостойкость, например, формы 12R4, целесообразным будет использование связок типа М1-10.

Концентрация кубонита. Аналогично обработке без охлаждения и для заточки и для доводки относительную концентрацию кубонита в кругах целесообразно выдерживать одинаковой – 100%.

Режимы шлифования. Окружная скорость кругов из кубонита должна быть в пределах 20–30 м/с с тенденцией в сторону большей скорости. Глубина шлифования – 0,050–0,025 мм. Продольная подача – 0,5–1,0 м/мин.

Обратим также внимание на технологии шлифования и заточки инструмента из инструментальных сталей на примере плоских ножей бумагорезальных машин, которая предназначена для шлифования ножей, применяемых в полиграфической промышленности. Эффективность обеспечивается за счет достижения гарантированной стойкости и долговечности обрабатываемого инструмента, что имеет первостепенное значение для увеличения производительности полиграфического оборудования, получения требуемого качества производимой продукции, сокращения расхода инструментальных и абразивных материалов [3].

Основную номенклатуру составляют плоские ножи из инструментальных сталей: сталь легированная марки 9ХФ (ГОСТ 5950-73) и двухслойная сталь –

корпус из стали марки 10 (ГОСТ 1050-60), режущий слой из стали марки 9ХФ. Твердость ножей: HRC 52–58 — для ножей из однослойной стали, HRC 56-62 — для ножей из двухслойной стали. Шероховатость поверхностей ножей $Ra 1,25$. Основные типоразмеры ножей: длина 350–2000 мм, ширина – 80–160 мм, толщина – 10–14 мм. Исходная (заменяемая) технология включает обработку ножей по задней поверхности под углом β шлифовальными кругами из электрокорунда и доводку режущей кромки брусками из электрокорунда. Достигаются следующие показатели обработки: шероховатость обработанной поверхности $Ra 1,25$; величина радиуса округления режущей кромки $\beta=10\text{--}15$ мкм. Гарантированная стойкость ножей — не более 3 ч.; количество переточек одного ножа — 60; количество резов обрабатываемой продукции за один период стойкости ножа не превышает 1000. Эксплуатационное требование к ножам из инструментальных сталей (рис. 2): шероховатость обработанной поверхности Ra непосредственно на режущей части не более 0,16 мкм, радиус округления режущей кромки $\rho=3\text{--}5$ мкм, зазубренность режущей кромки не допускается, ширина задней поверхности (угол $\beta+2^\circ$) не более 10 мм. Разработанная технология включает выполнение следующих технологических операций:

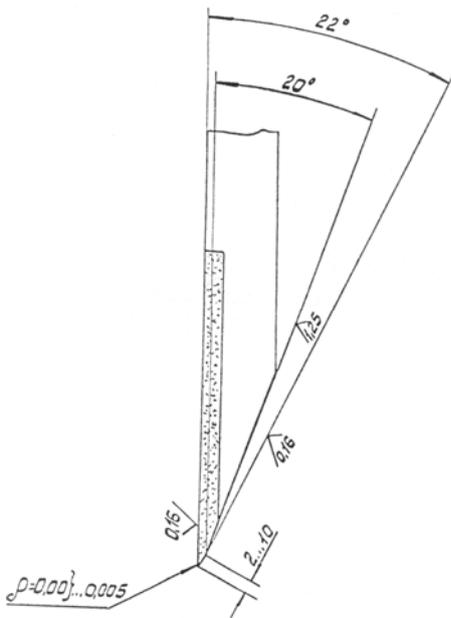


Рис.2 – Характеристика заточиваемой части ножей [3]

- Шлифование передней поверхности кругами из кубонита ($Ra 0,10\text{--}0,16$).
- Шлифование задней поверхности кругом из электрокорунда (угол β , $Ra 1,25$).
- Шлифование задней поверхности кругом из кубонита (угол $\beta+2^\circ$, $h=3\text{--}5$ мм, $Ra 0,10\text{--}0,16$).
- Доводка режущей кромки брусками из кубонита ($\rho=3\text{--}5$ мкм).

Обработка ножей производится с применением смазывающе-охлаждающей жидкости в качестве которой применяют 0,3%-й водный раствор кальцинированной соды или водный раствор до 1% нитрата натрия и 0,2% нитрата натрия.

Список литературы. 1. Лавріненко В.І., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / Під загальною ред. академіка НАНУ М.В. Новікова. – К.: ІНМ НАН України, 2013. – 456 с. 2. Актуальность производства в Украине перспективных порошковых быстрорежущих сталей для обработки высокопрочных, жаропрочных и титановых сплавов / Ю.Ф. Терновой, В.Т. Зубкова, А.И. Панченко и др. // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. тр. XVII межд. науч.-техн. конф., Севастополь 13-18 сентября 2010 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ., 2010. – Т. 3. – С. 145–149. 3. Шепелев А.А., Лавриненко В.И., Лецуку И.В. Технологии по шлифованию и заточке режущего инструмента кругами из СТМ (методические рекомендации). – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – 47 с.

РІЗАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПОШУК ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЇЇ ПОНОВЛЕННЯ

Лавріненко В.І., докт. техн. наук, проф.

(Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна)

Солод В.Ю., канд. техн. наук, **Музичка Д.Г.**, канд. техн. наук, **Костюк К.П.**

(Дніпродзержинський державний технічний університет, Каменське, Україна)

Розглянуті особливості забезпечення різальної здатності робочого шару шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів та показані технологічні методи поновлення такої здатності.

Ключові слова: різальна здатність, круги з надтвердих матеріалів.

Рассмотрены особенности обеспечения режущей способности рабочего слоя шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов и показаны технологические методы возобновления такой способности.

Ключевые слова: режущая способность, круги из сверхтвердых материалов.

The features of ensuring the cutting ability of grinding wheels of working layer of superhard materials have been considered and technological methods of this ability renovation have been introduced.

Keywords: the cutting ability, wheels of superhard materials.

Процес абразивної обробки це процес масового мікрорізання оброблюваного матеріалу великою кількістю абразивних зерен. Питома енергія, що витрачається на видалення одиниці об'єму металу суттєво зменшується з підвищенням глибини різання або шкрябання [1]. А це означає, що для шліфування зв'язаним абразивом принципове значення має виступання зерен над робочою поверхнею абразивного інструменту при шліфуванні. Виступання зерна, а відтак глибина його заділки і сталість, є наслідком дії трьох чинників: геометричного розподілу алмазів по висоті, зносу їх і зв'язки. Чим більшою є зернистість, тим більшим є виступання. Так, збільшення зернистості в 1,6 рази з 250/200 до 400/315 підвищує виступання зерен приблизно також в 1,6 рази [2]. Із зменшенням концентрації шліфпорошку у робочому шарі з 100 до 25 % при шліфуванні виступання зерен зменшується. Для 100 % таке виступання складає біля 20 % від значення максимальної зернистості шліфпорошку, при 50 % – ~ 13 %, при 25 % – ~ 8 % [3]. Все це наведене вище вказує на те, що різальна здатність шліфувальних кругів з НТМ закладається вже на рівні вибору характеристики їх робочого шару.

Разом з тим, відомо [2], що збільшення продуктивності обробки в два рази дозволяє підвищити виступання зерен в 1,1–1,6 рази, тобто друге важливе значення для різальної здатності має силовий вплив на різальну поверхню круга. Вкажемо, що виступання зерен визначає зазор в контактi між кругом і виробом, а також самозаточування круга. Звернемо увагу, що *самозаточування* це процес відновлення ріжучої здатності круга і може бути спричинений збіль-

шенням величини виступання зерен над зв'язкою або руйнуванням шляхом відколу алмазних зерен. Глибина шліфування визначається силою самозаточування круга (P_y) та розміром абразивних зерен (d). Міцність зерна пов'язана із його розміром, тому співвідношення P_y/d є суворо визначеною для самозаточування величиною, що доповнює технічну характеристику круга [4]. Засалювання ріжучої поверхні круга – критерій втрати працездатності круга, коли різальні зерна не виступають над рівнем зв'язки або над рівнем шламу, що вкриває різальну поверхню круга. Працездатність круга втрачається, коли площа засалених ділянок складає 70–80 % від загальної площі торцю круга [5]. Наявність шламу на поверхні круга впливає на працездатність круга у значно меншій мірі, ніж затуплення та знос абразивних зерен [6].

Наведене вище свідчить про те, що наявність самозаточування або засалювання в значній мірі визначається силами різання, що виникають при абразивній обробці. Зусилля різання при шліфуванні – сумарна результуюча сила різання при шліфуванні R розкладається на три складові: тангенціальну P_z (по дотичній до траєкторії руху різання), нормальну P_y (по нормалі до робочої поверхні інструменту) і силу опору подачі (осьову) P_x [7]. Нарівні із реальними значеннями складових зусилля різання увагу слід також приділяти особливостям зміни величини коефіцієнта абразивного різання – $fa = P_z/P_y$ [8]. Із збільшенням кута загострення зерен і, відповідно зменшенням переднього кута, відношення P_z/P_y буде зростати. Чим більше відношення сил P_z/P_y різниться від величини коефіцієнта тертя, тим ефективніше ріже круг [9]. Розрахунки свідчать, що при абразивній обробці крихких неметалічних матеріалів (ситалів) при відношенні $P_z/P_y = 0,167$ на руйнування обробного матеріалу витрачається менш як 15 % підведеної енергії, тоді як при $P_z/P_y = 0,286$ ця частка складе 25 %. Це свідчить про те, що з точки зору ефективного використання підведеної енергії краще аби складова P_y була би мінімальною [10]. Сенс відношення P_z/P_y полягає у тому, що воно оцінює вклад корисної роботи різання–диспергування відносно роботи впровадження зерен в оброблюваний матеріал і їхнього взаємного тертя. Чим більшою є величина P_z/P_y , тим більш оптимальними є умови шліфування з точки зору роботи різання та роботи тертя, яка зазвичай переважає в енергетичному балансі шліфування [11].

Напружений стан системи «зерно НТМ–зв'язка» залежить у значній мірі від нахилу зерна, величини його виступання, зусилля різання та співвідношення сил різання. Так, в [12] уточнено, що зерна бажано орієнтувати таким чином, щоби більша вісь еліпсоїда–зерна знаходилася би в одній площині з зусиллям різання. При цьому небезпечні напруження розтягу в області кореня з'єднання зерна зі зв'язкою зменшуються. В ідеальному випадку для зменшення напруженого стану в системі «зерно–зв'язка» і допомоги утриманню зерен важливо прагнути у загальному до зниження сил різання. В свою чергу, зниження сил різання позначиться на продуктивності обробки, тому важливо виявити особливості напруженого стану при змінах складових зусилля різання та взаємодії складових P_z та P_y . Наведене дало змогу [8] сформулювати положення: для поліпшення напруженого стану системи «зерно–зв'язка» і, відповідно, зниження зносу круга необхідно прагнути у процесі шліфування до підвищення величини

fa. При цьому, бажано зменшувати складову P_y , або стримувати її від зростання, а складову P_z необхідно підвищувати.

Тепер розглянемо третій фактор, що може визначати різальну здатність круга. При фрикційному контакті двох тіл природною є взаємна формозміна їхніх поверхонь контакту. Процес абразивної обробки також має це явище, але різниця полягає у тому, що формозміна матеріалу, який піддається обробці, відбувається досить швидко, а абразивного – повільно. При цьому, від стану ріжучої поверхні круга у значній мірі залежать вихідні показники процесу шліфування. В процесі абразивної обробки на абразивному інструменті утворюється тобто *макропрофіль робочої поверхні круга*, профіль робочої поверхні круга, який формується у процесі обробки за рахунок акомодатії. Розділяють поперечний та повздовжній макропрофілі.

Поперечний макропрофіль робочої поверхні круга – нерівномірна формозміна при шліфуванні ріжучої поверхні круга у радіальному напрямку. Переважно дослідники нехтують такою формозміною і вважають, що вся різальна поверхня круга є відповідальною за знімання матеріалу за оберт круга. Але у реальних умовах шліфування це не є так. В [13] розглянуті особливості формозміни поверхні круга у радіальному напрямку, що є найбільш характерним для методів обробки з подовжною подачею: багатопрохідного та глибинного. Профіль ріжучої поверхні круга, який утворюється при торцевому шліфуванні, є поєднанням двох ріжучих кінцевих поверхонь: головної (ГРК) та допоміжної (ДРК), поділених перехідним коловим паском (ПКП). Процес припрацювання закінчується при досягненні нестабільного трапецеподібного профілю з наявністю ПКП. При цьому спостерігається певна стабілізація показників процесу шліфування ($N_{\text{эф}}$, $I_{\text{т}}$, $q_{\text{р}}$) і, в подальшому, при переході до абсолютної трикутної форми, їхні значення змінюються мало. По мірі зниження кута φ ГРК площа контакту зростає, що приводить до зниження зносу кругів. Одночасно з цим спостерігається підвищення ефективної потужності шліфування, викликане збільшенням кількості ріжучих зерен при збільшенні площі контакту. Оскільки круг за рахунок зменшення кута φ не може компенсувати зростання навантаження на зерна при збільшенні $S_{\text{под}}$ або зниженні $v_{\text{к}}$, то зростає товщина зрізу за оберт круга. При цьому, знижується питома робота різання у процесі видалення одиниці об'єму матеріалу і підвищення ефективної потужності спостерігається у меншій мірі. Однак, збільшення продуктивності обробки, або зменшення швидкості обертання круга, які призводять до зростання навантажень на зерна, сприяє їхньому руйнуванню, підвищенню ймовірності їхньому викиду зі зв'язки і, як наслідок, швидкому зносу кругів. Для типових умов металообробки при досягненні стабільної трикутної форми профілю площа ріжучої поверхні круга, відповідальна за знімання матеріалу складає лише 70–75 % від загальної [13].

Повздовжній макропрофіль робочої поверхні круга – нерівномірна формозміна при торцевому шліфуванні ріжучої поверхні круга у коловому напрямку. У більшості випадків на неї майже не звертається увага і вважається, що вся різальна поверхня круга є відповідальною за знімання припуску за оберт круга. Таке нехтування може спричинити суттєву похибку. А пов'язане це з тим, що форма профілю ріжучої поверхні круга у коловому напрямку набуває

форму хвилі і реально за знімання припуску відповідає лише її фронт. Якщо процес формоутворення ріжучої поверхні круга у радіальному напрямку є характерним лише для способів шліфування з повздовжньою подачею, то процес формоутворення у коловому напрямку є наявним для будь-якого способу. Проведені дослідження засвідчили, що в усіх напрямках розгортка ріжучої поверхні круга у коловому напрямку має хвилеподібну форму зносу. Наявність хвильової формозміни при шліфуванні пов'язувалася в [14, 15] лише з нежорсткістю технологічної системи, а переміщення хвилі вважалося випадковим явищем, що викликане дотиком різних ділянок поверхні круга до виробу, що піддається обробці [14]. В [16] вперше сформульовано інший підхід до описаного явища – як до закономірної формозміни ріжучої поверхні круга. У цьому випадку наявність хвилі є необхідною складовою механізму знімання припуску. На основі такого підходу показано, що хвиля переміщується у коловому напрямку і переміщується нерівномірно, змінюючи протяжність фронту. Всі ці три фактори (наявність хвилі, її рух та нерівномірність цього руху) є, на наш погляд, виключно важливими, оскільки проясняють механізм знімання припуску. Круг розподіляє навантаження на зерна (хвиля), вводить з плином часу нові поверхні в роботу, надаючи попереднім перепочинок (рух хвилі), і, нарешті, працює механізм самозаточування (нерівномірність переміщення хвилі).

Стосовно величини площі ріжучої поверхні круга, відповідальної за знімання оброблюваного матеріалу, встановлено [16], що за рахунок повздовжньої формозміни у зніманні за оберт круга може приймати участь від 30 до 70 % ріжучої поверхні, а середнє значення площі фронту хвилі у загальній площі поверхні круга дорівнює 55,6 %. Це співпадає із значенням у 55 %, наведеним у [15]. Такий збіг незалежних досліджень є певним підтвердженням наведеного вище. Слід додати, що середнє значення площі у 55 % є характерним якраз для методів шліфування без повздовжньої подачі – пружного та врізного. При багатопрохідному та глибинному шліфуванні, коли ще додатково існує поперечна формозміна, ця площа, з її урахуванням дорівнює приблизно 40 %. Відтак, основний припуск при шліфуванні в середньому знімає лише ~ 40 % від різальної поверхні круга, а інші 60 % тимчасово очікують своєї черги ввійти в роботу. А це як раз і позначається на тому, що при підвищенні продуктивності обробки не вистачає резерву площі ріжучої поверхні, а відтак, зростають навантаження в зоні контакту і відповідно відбувається поновлення ріжучої здатності круга [8]. З наведеного вище виходить такий висновок, що у випадку незадовільної різальної здатності круга для її відновлення необхідно змінити профіль різальної поверхні круга підрізанням вершини трикутного профілю круга, що внесе збурення в робочу поверхню і, як наслідок, відновить різальну здатність. Зробити це можливо правкою кругів з НТМ абразивним інструментом і може відбуватися абразивними брусками або абразивними кругами.

Правка кругів абразивними брусками відбувається коли круг з НТМ обертається при цьому із робочою частотою, причому абразивний брусок – абразив-

не зерно з карбїду кремнію (КЗ), зернистість на 1–2 номера є більшою за алмазний порошок в крузі. Недолік – велика тривалість правки, особливо кругів на металічній зв'язці.

Правка методом шліфування абразивним кругом на круглошліфувальних верстатах відбувається при робочих швидкостях обертання обох кругів з діапазону 14–16 м/с. Правка відбувається кругами з електрокорунду білого або КЗ на керамічних зв'язках зернистістю на один-два номера менших за зернистість круга з НТМ. Твердість абразивних кругів СМ1–М1 для правки інструменту на полімерних зв'язках та С1–СМ1 для інструменту на металічних зв'язках, причому чим меншою є зернистість НТМ, тим більш м'яким повинен бути абразивний круг. Хоча така правка досить розповсюджена, але після неї зерна виступають зі зв'язки не більш як на 10 %, знижується кількість активно ріжучих зерен [17].

Список літератури. 1. *Basuray P. K., Misra B. K., Lal G. K.* Transition from ploughing to cutting during mashing with blunt tools // *Wear.* – 1977. – 43, N 43. – P. 341–349. 2. *Корж Н. Я.* Некоторые особенности механизма износа алмазных кругов // *Сверхтвердые материалы.* – 1980. – № 4. – С. 35–42. 3. *Линенко-Мельников Ю. П., Мишинаевский Л. Л.-мл.* Анализ изменения величины выступания алмазных зерен на работающем шлифовальном круге // *Сверхтвердые материалы.* – 1989. – № 2. – С. 40–44. 4. *Горшков Б. Т.* Обдирочное шлифование проката. – М.: *Металлургия*, 1991. – 176 с. 5. *Шеин А. В.* Исследование процесса плоского торцового шлифования инструментальных материалов алмазными кругами: Автореф. ... канд. техн. наук. – Куйбышев: КПИ, 1971. – 31 с. 6. *Бударин А. М.* Исследование эффективности некоторых технологических средств при шлифовании деталей из высоколегированных и легированных сталей: Автореф. ... канд. техн. наук. – Саратов: СПИ, 1970. – 26 с. 7. *Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л. та ін.* Основы теории резания материалов: Підручник для вищ. навч. закладів / Під заг. ред. М. П. Мазура. – Львів: Новий світ-2000, 2010. – 422 с. 8. *Лаврінченко В. І.* Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь: Автореф. ... докт. техн. наук. – К.: ІНМ НАН України, 2000. – 35 с. 9. *Семко М. Ф.* Особенности процесса резания алмазным и минерало-керамическим инструментом и обработки пластмасс: Автореф. ... докт. техн. наук. – К.: КПИ, 1968. – 76 с. 10. *Калафатова Л. П., Поезд С. А.* Исследование разрушения хрупких неметаллических материалов при резании // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство.* – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 92. – 294 с. 11. *Старков В. К.* Физический механизм съема материала при шлифовании // *Современные технологии в машиностроении: К юбилею Ф. Я. Якубова: Сб. науч. ст. / Под общ. ред. А. И. Грабченко.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – С. 156–171. 12. *Крушевский А. Е.* Аналитическое исследование напряженного состояния зерна шлифовальника в области соединения его со связкой // *Машиностроение: Респ. межвед. сб.* – 1985. – Вып. 10. – С. 32–38. 13. *Лаврінченко В. І.* Электрошлифование инструментальных материалов. – К.: *Наук. думка*, 1993. – 152 с. 14. *Якимов А. В., Паршаков А. Н., Свирицев В. И., Ларшин В. П.* Управление процессом шлифования. – К.: *Техніка*, 1983. – 184 с. 15. *Линенко-Мельников Ю. П.* Метод исследования кинетики контактного взаимодействия в системе инструмент-заготовка при шлифовании // *Сверхтвердые материалы.* – 1991. – № 6. – С. 40–43. 16. *Сверхтвердые материалы. Получение и применение:* В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова; НАН Украины. Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля. – Т. 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Отв. ред. А. О. Шепелев. – К., 2007. – 340 с. 17. *Захаренко И. П.* Рациональное использование сверхтвердых абразивных материалов в инструментальном производстве. – К.: *Наук. думка*, 1979. – 160 с.

МІКРОГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ В 3-D СИСТЕМІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ В ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

Марчук В.І., докт. техн. наук, проф.,
Ештеіві А.М., аспірант, **Шишко К.В.**, магістрант
(Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна)

Подано загальні відомості про поверхню деталей та її властивості, фактори що впливають на якість поверхні; трьохмірна система визначення параметрів мікрогеометрії; проаналізовано зв'язок поверхневого шару з експлуатаційними властивостями деталі.

Ключові слова: *поверхневий шар, якість поверхні, фізико-хімічні та механічні властивості, хвилястість, шорсткість поверхні, нерівності поверхні, експлуатаційні властивості деталі.*

Приводятся общие сведения о поверхности деталей и ее свойства, факторы влияющие на качество поверхности; трехмерная система определения параметров микрогеометрии; проанализирована связь поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами детали.

Ключевые слова: *поверхностный слой, качество поверхности, физико-химические и механические свойства, волнистость, шероховатость поверхности, неровности поверхности, эксплуатационные свойства детали.*

Posted overview of surface detail and its properties, factors affecting the quality of the surface; three-dimensional system of determining parameters microgeometry; analyzes the relationship of the surface layer of the operating properties details.

Key words: *surface layer, surface quality, physico-chemical and mechanical properties, waviness, surface roughness, surface roughness, the operational properties of details.*

Наука про якість поверхневого шару за свою майже 100-літню історію розвивалась від невизначеного врахування нерівностей поверхонь до комплексної оцінки їх стану з врахуванням як всіх видів нерівностей (макрівідхилення, хвилястість, шорсткість, субшорсткість), так і фізико-хімічних властивостей (структура, фазовий склад, хімічний склад, поверхневе зміцнення, залишкові напруження, екзоелектронна емісія). Вона в теперішній час викликає інтерес вчених різних напрямків: механіків, фізиків, хіміків, метрологів та технологів. Розглянемо це питання більш детально.

Якість поверхні визначається геометрією поверхні і її фізико-хімічними та механічними властивостями, що обумовлені процесом її утворення при обробці деталі. Якість поверхні впливає на опір втомі, зносостійкість, корозійну і ерозійну стійкість, а також на міцність посадок з натягом і точність рухомих і нерухомих спряжень.

До геометричних параметрів відносять: макро- та мікрогеометрію поверхні, хвилястість.

Макрогеометрія поверхні характеризується похибками форми (овальність, конусність, бочкоподібність), які відносяться до параметрів точності обробки [1].

В країнах західної Європи з метою більш детального аналізу мікрогеометрії поверхні та для відображення зв'язків мікрорельєфу поверхні з експлуатаційними властивостями використовується трьохмірна система визначення параметрів мікрогеометрії (3D система).

В цій методиці параметри мікрогеометрії визначаються не за профілограмою, що формується за допомогою профілометра(профілографа), а за допомогою сканування одиничної площі зразка.

В 3-D системі розрізняють наступні групи параметрів:

1. Амплітудні параметри:

- S_t - висота нерівностей, μm .
- S_z - висота нерівностей по 10 точкам, μm .
- S_q - середньоквадратичне відхилення (від середньої площини), μm .
- S_p - максимальна висота вершин (від середньої площини), μm .
- S_v - максимальна глибина западин (від середньої площини), μm .
- S_a - середньоарифметичне відхилення (від середньої площини), μm .
- S_{sk} - коефіцієнт зсуву (кривої розподілу ординат профілю щодо середньої площини).
- S_{ku} - коефіцієнт щільності (розподілу ординат профілю щодо середньої площини).

2. Поверхнево-об'ємні параметри.:

- STr - показник несучої здатності, % на заданій висоті щодо найвищої вершини.
- $SHTr$ - висота опорної зони (несучої чи зони обсягу), μm . (між заданими рівнями в % від загальної висоти нерівностей).
- $Smmg$ - показник обсягу матеріалу
- $Smvr$ - показник обсягу порожнин.

3. Просторові параметри:

- SPc – щільність розподілу місцевих вершин між заданими рівнями s_1 і s_2 , кількість вершин $/mm^2$.
- Sds - щільність розподілу вершин, кількість вершин $/mm^2$
- Sal - коефіцієнт згасання функції автокореляції.

4. Гібридні параметри:

- Sdq - середньоквадратичний нахил нерівностей поверхні.
- Ssc - середньоарифметична кривизна вершин, $1/\mu m$.
- Sdr - розвиток поверхні, %

5. Функціональні параметри:

- Sbi - показник несучої здатності, μm
- Sci - показник утримання змащення коренем нерівностей, μm .
- Svi - показник утримання змащення залишковими западинами.

Розглянемо методику визначення деяких параметрів мікрогеометрії поверхні в 3-D системі.

Середньоквадратичне відхилення поверхні S_q . Значення середнього квадратичного відхилення зсувів поверхні в межах області вибірки

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \eta^2(x_i, y_j)}. \quad (1)$$

Висоти десяти точок поверхні S_z . Середнє значення абсолютних висот п'яти найвищих позитивних вершин і абсолютних глибин п'яти найглибших негативних вершин у межах області вибірки

$$S_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |\eta_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |\eta_{vi}|}{5}, \quad (2)$$

де η_{pi} і η_{vi} ($i=1, 2, \dots, 5$) – п'ять найвищих позитивних вершин і найнижчих негативних вершин відповідно.

Асиметрія поверхневого розподілу висоти S_{sk} . Критерій асиметрії поверхневих відхилень щодо реперної поверхні

$$S_{sk} = \frac{1}{MNS_q^3} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \eta^3(x_i, y_j). \quad (3)$$

Ексцес поверхневого розподілу висот S_{ku} . Критерій піковості чи різкості поверхневого розподілу висот

$$S_{ku} = \frac{1}{MNS_q^4} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \eta^4(x_i, y_j). \quad (4)$$

Щільність вершин поверхні S_{ds} . Число вершин на одиничній вибірковій області

$$S_{ds} = \frac{\text{кількість вершин}}{(M-1)(N-1) \cdot \Delta x \Delta y}. \quad (5)$$

Індекс несучої поверхні S_{bi} . Відношення RMS відхилення від висоти поверхні при c_1 несучій області:

$$S_{bi} = \frac{S_q}{\eta_{c1}} = \frac{1}{h_{c1}}, \quad (6)$$

де η_{c1} h_{c1} представляють висоту і нормалізовану висоту поверхні c_1 несучої області відповідно. За замовчуванням значення c_1 - це 5%.

Значна кількість параметрів мікрогеометрії 3-D системи безпосередньо характеризують експлуатаційні властивості поверхневого шару. Так, наприклад, це просторові параметри SP_c , S_{ds} , Sal , а також група функціональних параметрів S_{bi} – показник несучої здатності, S_{vi} та Sci – показники утримання змащення, тощо.

При вирішенні задач технологічного забезпечення якості поверхні деталей та їх експлуатаційних якостей технолог повинен вміти:

- забезпечувати параметри якості поверхневого шару деталей машин відповідно до їх службового призначення;
- прогнозувати режими механічної обробки, що забезпечують одержання заданих параметрів якості;
- визначати комплекс методів механічної обробки, що забезпечують одержання заданих параметрів якості поверхневого шару з найбільшою продуктивністю.

Вивчення якості поверхневого шару деталей машин та приладів на всіх стадіях життєвого циклу (проектування, виготовлення, контроль, експлуатація, ремонт, відновлення, утилізація) поклато початок вчення про інженерію поверхні.

Встановлено, що поверхневі шари деталей в залежності від методу їх обробки за своїми фізико-хімічними властивостями різко відрізняються від властивостей основного матеріалу.

При виготовленні та експлуатації деталі на її поверхні виникають нерівності, змінюється структура, фазовий та хімічний склад. В деталі виникають залишкові напруження, змінюється міцність втомленості.

Зовнішній шар деталі зі зміненою структурою, фазовим та хімічним складом в порівнянні з основним металом, з якого виготовлена деталь, називається поверхневим шаром. Зовнішня поверхня шару межує з навколишнім середовищем або з поверхнею спряженої деталі.

В поверхневому шарі виділяють наступні зони:

- зону 1 адсорбованих з навколишнього середовища молекул та атомів органічних і неорганічних речовин (води, розчинників, миючих та мастильно-охолоджуючих рідин), її товщина $1 \dots 10^2$ Нм;
- зону 2 продуктів хімічної взаємодії металу з оточуючим середовищем (як правило оксидів), товщиною приблизно $10^{-3} \dots 1$ мкм;
- граничну зону 3 товщиною в декілька міжатомних відстаней; метал в цій зоні має інші ніж в основному об'ємі кристалічну та електронну структури;
- зону 4 з зміненою структурою, фазовим та хімічним складом, вона виникає в процесі виготовлення та експлуатації деталі, її товщина як правило приблизно дорівнює $0,01 \dots 0,1$ мм.

Нерівності на поверхні деталі, структура, фазовий та хімічний склад поверхневого шару впливають на її фізико-хімічні та експлуатаційні властивості.

Поверхневий шар найбільше впливає на надійність та зносостійкість роботи деталі і виробу в цілому. При експлуатації поверхневий шар деталі піддається найбільшому фізико-хімічному впливу. Руйнування деталі (наприклад розвиток тріщин втомленості, ерозія, зношування, корозія), в більшості випадків починаються з поверхні.

Взаємозв'язок поверхневого шару з фізико-хімічними і експлуатаційними властивостями деталі показаний на рис. 1.

Ідеально правильну поверхню не можливо отримати за допомогою будь-якого методу обробки. Реальна поверхня деталі недосконала: судження про рівень недосконалості залежить від масштабу розгляду. Можливо розглядати відхилення від геометричної правильності поверхні, макро-, мікро- та субмікроскопічного порядку.

Макрогеометричні відхилення розглядають на порівняно великих ділянках реальної поверхні деталі (вони характеризують її точність), мікрогеометричні відхилення – на малих ділянках реальної поверхні з довжиною сторони квадрату $10^{-2} \dots 10^1$ мм. Сукупність нерівностей поверхні на цій довжині прийнято називати шорсткістю поверхні.

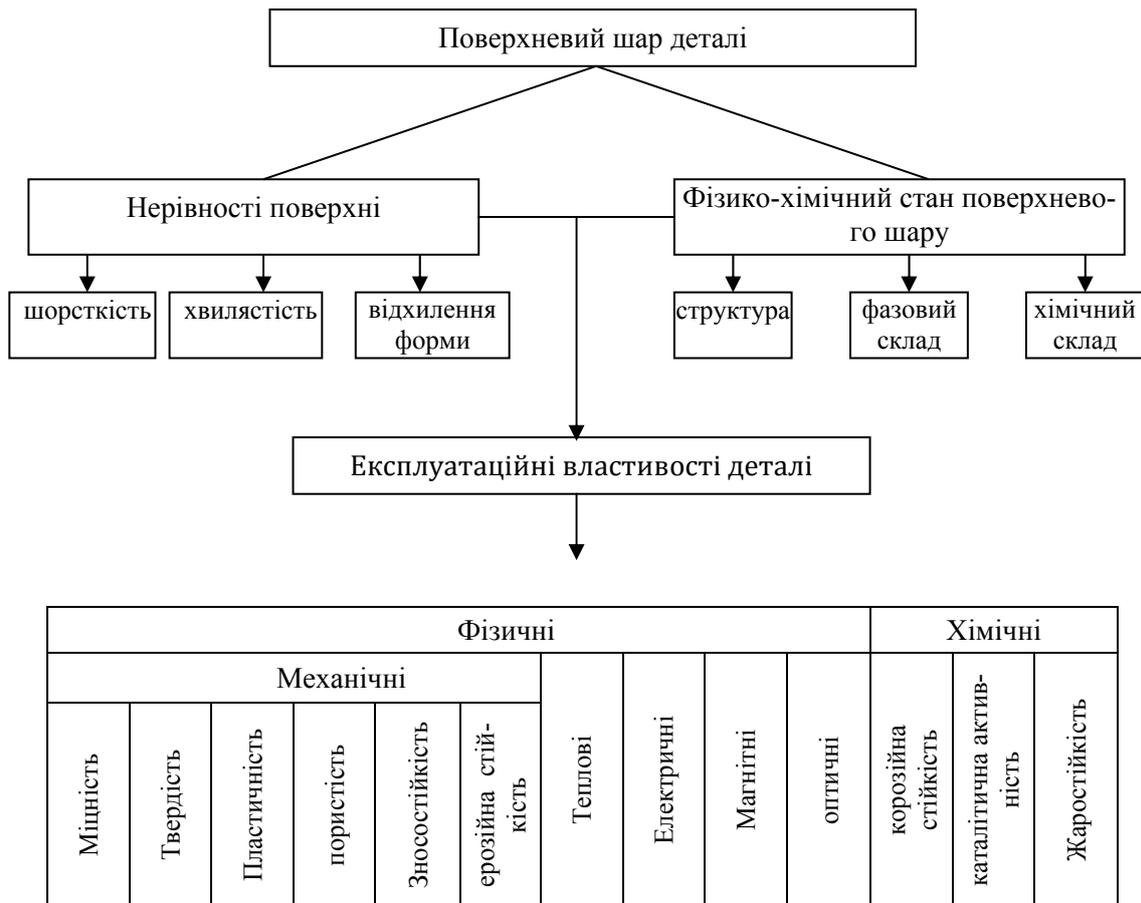


Рис. 1 – Взаємозв'язки поверхневого шару з експлуатаційними властивостями деталей

Підсумовуючи вище викладене можна зробити висновок про те, що експлуатаційні характеристики і властивості деталей залежать не тільки структури матеріалу деталі та її хімічного складу, а й від показників фізико-механічного стану поверхні до яких відносяться параметри мікро- та макронерівностей поверхні, а також параметри, що характеризують фізико-механічні властивості поверхневого шару – мікротвердість, поверхневі напруження і інші.

В цьому зв'язку важливим завданням під час конструювання деталей та виробів, проектуванні технології механічного оброблення деталей є технологічне забезпечення параметрів якості поверхні та експлуатаційних властивостей деталей.

Список літератури: 1. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. 2. *Исаев А.И.* Микрогеометрия поверхности при токарной обработке. – Москва, 1950. 3. *Рудзит Я.А.* Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. – Рига: Зинатне, 1975. – 210 с. 4. *Рыжов Э.В., Сулов А.Г., Федоров В.П.* Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: "Машиностроение", 1979. 5. *Демкин Н.Б.* Геометрия и механика контактирования шероховатых тел // Теория трения, износа и проблемы стандартизации. – Брянск: Брянское книжное изд-во, 1978. – 274 с.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ В ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНОМУ ПІДШИПНИКОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Марчук В.І., докт. техн. наук, проф.,

Марчук І.В., канд. техн. наук, ст. викладач

(Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна)

В роботі розглядаються підходи до технологічного забезпечення точності деталей підшипників. Встановлено, що точність виробів в умовах переналагоджувального підшипникового виробництва може забезпечуватись двома методами: розбракуванням або сортуванням вже виготовлених деталей або виробів і шляхом підвищення технологічної точності на операції механічного оброблення

Ключові слова: нерівність, хвилястість, шорсткість, експлуатаційні властивості деталі, якість поверхні.

В работе рассматриваются подходы к технологическому обеспечению точности деталей подшипников. Установлено, что точность изделий в условиях переналаживаемого подшипникового производства может обеспечиваться двумя методами: разбраковкой или сортировкой уже изготовленных деталей или изделий и путем повышения технологической точности на операции механической обработки

Ключевые слова: неравенство, волнистость, шероховатость, эксплуатационные свойства детали, качество поверхности.

We consider approaches to ensure the accuracy of details technological bearings. Found that accuracy in terms of products bearing perenalahodzhivalnoho production could be achieved by two methods: rozbrakuvannyam sorting or have manufactured parts or products and by increasing technological precision in machining operations

Keywords: inequality, waviness, roughness operating properties of parts, surface quality.

Мета і завдання: 1. Провести дослідження залежності розмірних параметрів оброблюваних деталей від режимів шліфувальної операції, впливу супроводжуючих чинників та характеристик використовуваного обладнання і, на основі виявлених залежностей та взаємозв'язків розробити модель формування технологічної операції в автоматизованих системах управління точністю обробки кілець підшипників (рис. 1).

2. Дослідити вплив режимів різання та їх циклової послідовності у формоутворюючих операціях на кінцеві розмірні параметри поверхонь деталей підшипників.

Для системного аналізу ефективно використовується багатоваріаційна ієрархія вирішень (рівнів складності) і організаційна ієрархія.

Перша визначає вертикальну декомпозицію комплексної задачі на підзадачі, друга – встановлює міжелементні й підсистемні зв'язки та описує її структуру [1].

На рис.2 подано узагальнену недекомпозиціоновану блок-схему АТК [1]. Цією схемою визначаються первинні поняття про алгоритм і засоби контролю та діагностування технологічного об'єкта управління (ТОУ).

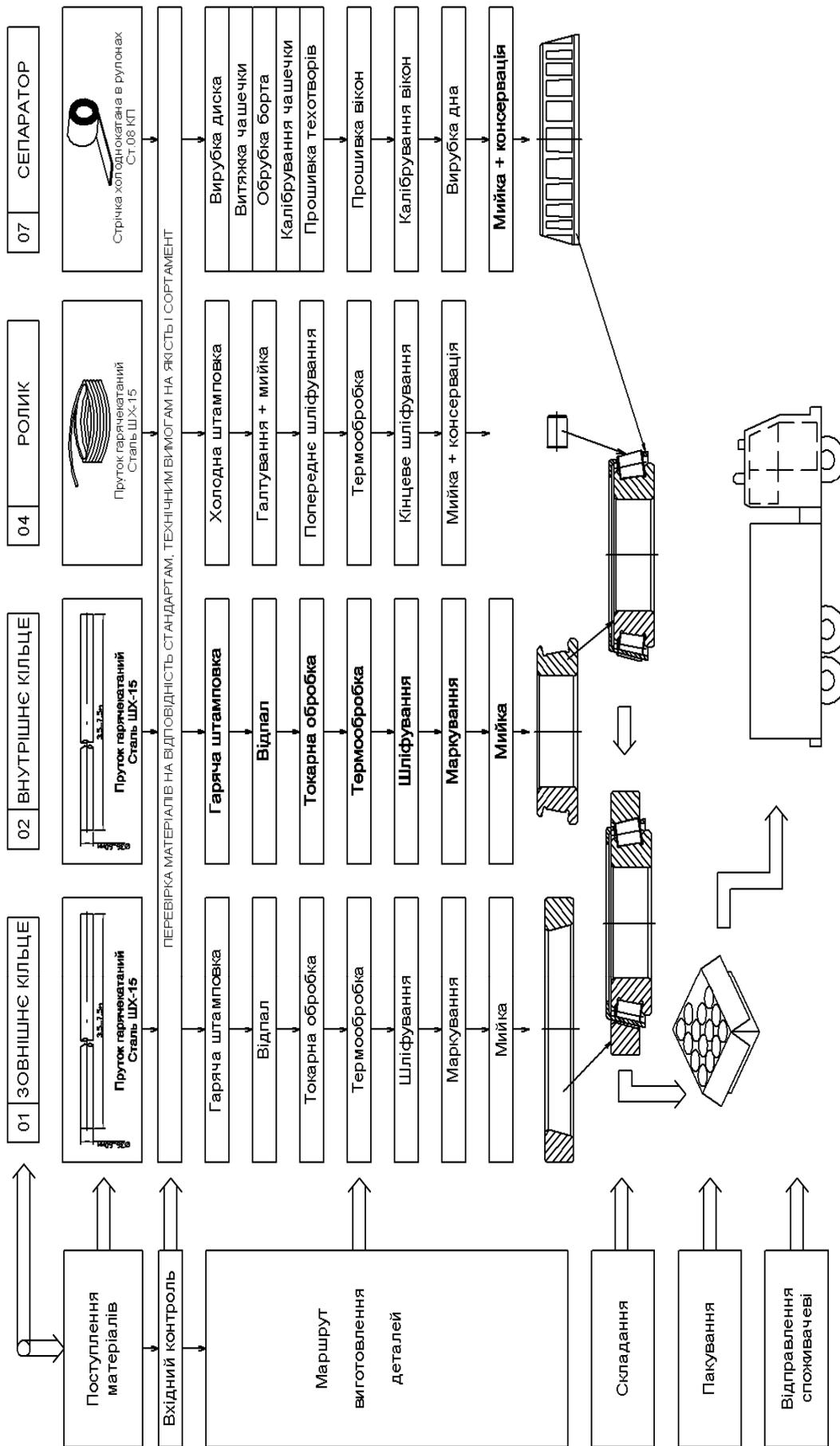


Рис. 1 – Технологія виготовлення підшипника

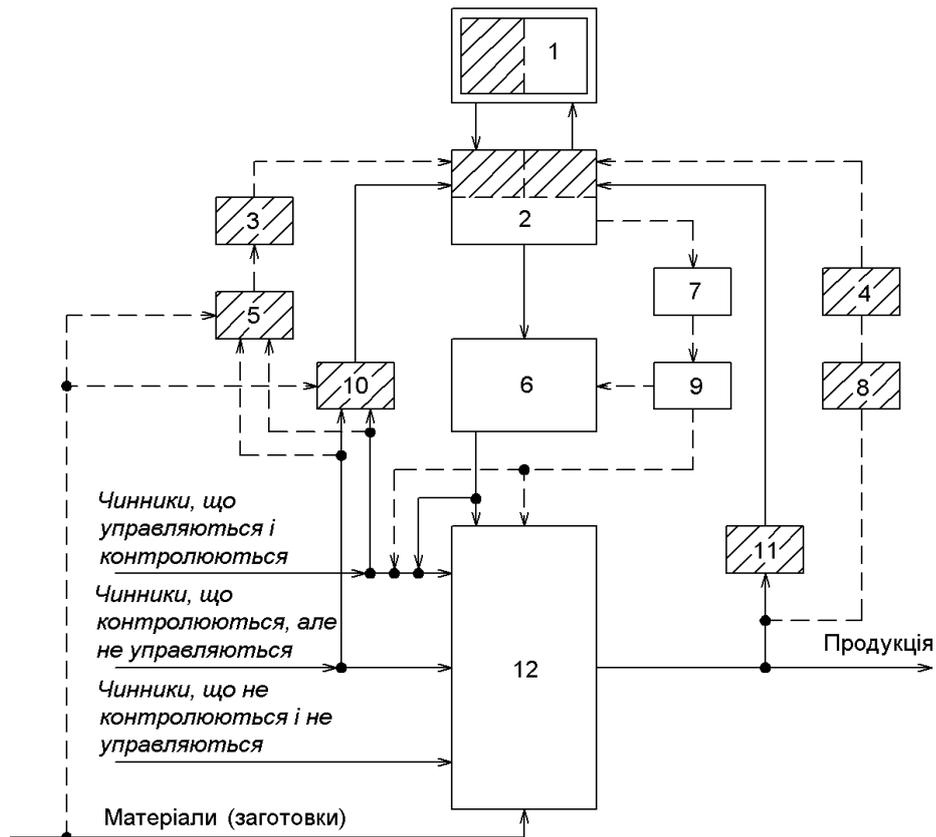


Рис. 2 – Підсистема контролю в узагальненій блок-схемі АТК:

1 – електронно-обчислювальна машина; 2 – комплекс пристроїв вводу-виводу; 3, 4, 9 – оператор-технолог; 5, 8 – засоби візуального контролю (вимірювань); 6 – виконавчі органи; 7 – дисплей; 10,11 – давачі параметрів процесу; 12 – технологічний об’єкт управління – ТОУ (елементи з функціями контролю позначені штриховкою).

Як випливає зі схеми (рис. 2), важливе місце в автоматизованих технологічних комплексах займає контроль та вимірювання параметрів на всіх рівнях [2]. Для гарантованого забезпечення якості продукції виникає необхідність різкого підвищення рівня технологічної точності, що вимагає подальшого розвитку управління та регулювання, тобто всебічного розвитку активного контролю, який є одним з ефективних методів технологічного забезпечення якості [2].

Щоб ні одна з бракованих деталей не була помилково признана придатною, необхідно зменшити допуск T до значення технологічного допуску :

$$T_{mex} = T - 4\Delta_{мет} . \quad (1)$$

Це пояснюється тим, що засіб контролю може бути налагоджений на граничні значення похибки $\Delta_{мет}$, тобто на границі E_1' і E_2' . Щоб не звужувати виробничий допуск, необхідно або зменшувати допустиму похибку $\Delta_{мет}$, або зміщувати налагодження, розширивши допуск до гарантованого T_G . Практичне поєднання похибок контролю та вимірюваного параметра є подією випадковою. З врахуванням закону нормального розподілу обох складових можна записати

$$T = \sqrt{T_{mex}^2 + (2\Delta_{мет})^2} , \quad (2)$$

де $\Delta_{мет}$ – допустима частина похибки.

Аналіз формул (1) і (2) показує, що якщо $2\Delta_{мет}/T=0,1$, то практично увесь допуск відводиться на компенсацію технологічних похибок, так як при цьому $T_{тех}/T=0,9 - 0,995$. Навіть якщо прийняти $2\Delta_{мет}/T=0,4$, то і тоді на компенсацію технологічних похибок можна виділити $(0,6 - 0,917)T$.

Отже, виходячи із вищезазначеного, були зроблені наступні висновки:

1. Дослідженні залежності розмірних параметрів оброблюваних деталей від режимів шліфувальної операції, впливу супроводжуючих чинників та характеристик використовуваного обладнання і, на основі виявлених залежностей та взаємозв'язків розробити модель формування технологічної операції в автоматизованих системах управління точністю обробки кілець підшипників. 2. Досліджено вплив режимів різання та їх циклової послідовності у формоутворюючих операціях на кінцеві розмірні параметри поверхонь деталей підшипників.

Список літератури: 1. Марчук В.І. Корекція деформаційних похибок при управлінні точністю механічної обробки / В.І. Марчук, В.Т. Михалевич // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). – Луцьк: Луцький державний технічний університет, 2000. – Вип. 7. – С. 143–145. 2. Михалевич В.Т. Вплив параметрів заготовки на роботу автоматизованих систем управління точністю обробки деталей підшипників / В.Т. Михалевич // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка") – Луцьк: Луцький державний технічний університет, 2007. – Вип. 19.– С. 237–244. 3. Високопродуктивне шліфування: навч. посібник / О.В. Якімов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, О.О. Якімов – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.

УДК 621.923

ПРОИЗВОДСТВО ФОРМУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ МАКАРОННОЙ И КОНДИТЕРСКОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Полянский В.И., канд. техн. наук
(НПО «Империя металлов», Харьков, Украина)

Дана техническая характеристика изготавливаемой формирующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности отечественного рынка

Ключевые слова: формирующая оснастка, современное высокоточное оборудование, макаронная и кондитерская отрасли, металлопластиковые светопрозрачные конструкции.

Дана технічна характеристика продукції, що виготовляється формируючої оснастки для макаронної та кондитерської галузей промисловості вітчизняного ринку

Ключові слова: формиуюча оснащення, сучасне високоточне обладнання, макаронна і кондитерська галузі, металопластикові світлопрозорі конструкції.

Dana technical characteristics of made forming equipment for macaroni and confectionery industries of the domestic market Industry

Keywords: forming equipment, modern precision equipment, macaroni and confectionery industry, plastic translucent structures.

НПО «Империя металлов» – многопрофильное производственное предприятие, являющееся одним из ведущих операторов рынка формирующей оснаст-

ки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности отечественного рынка. В структуру предприятия входят:

офис Головного предприятия;

завод «Империя металлов»;

конструкторско-технологическое бюро «Центральное»;

проектно-технологическая группа с лицензией на строительные работы – проектирование, монтаж, ввод в эксплуатацию систем обеспечения водой, теплом, газом;

цех по изготовлению металлопластиковых конструкций и металлоконструкций;

2 представительства компании.

Головное предприятие и производственные площади НПО «Империя Металлов» расположены в городе Харьков, другие структуры базируются на территории Украины и в странах СНГ.

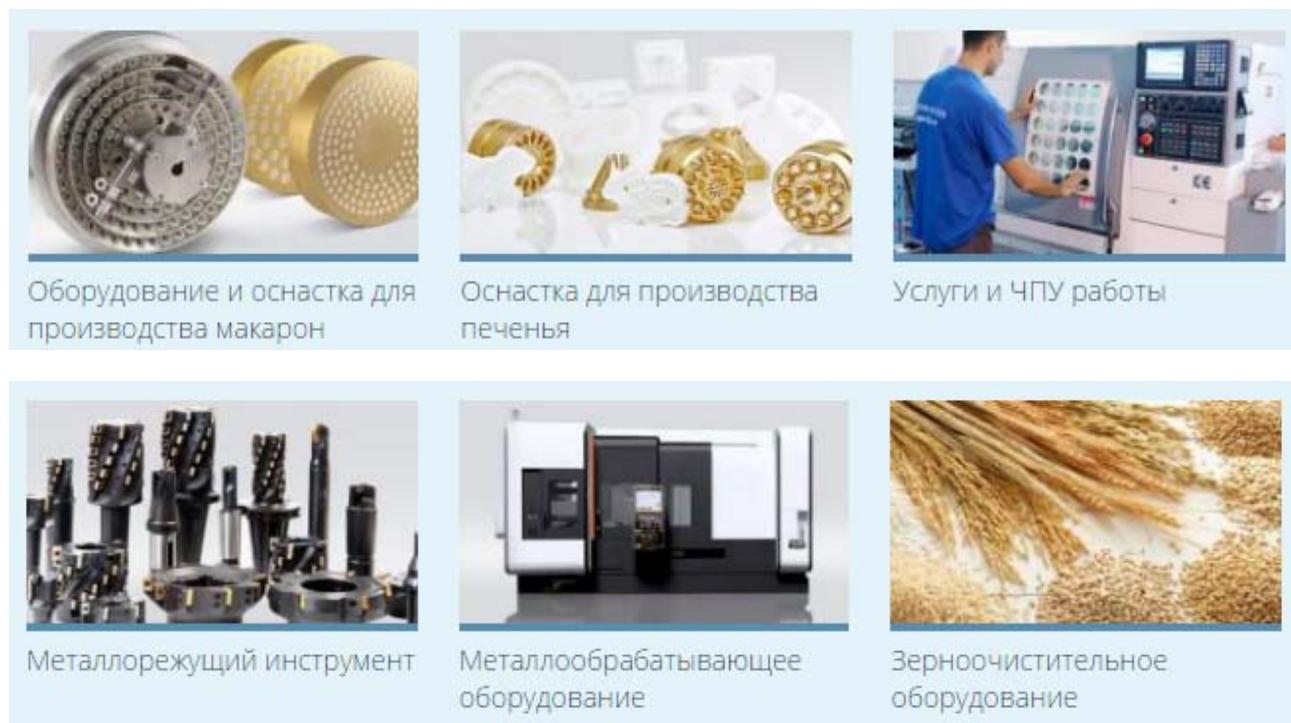


Рис. 1 – Направления деятельности предприятия

Основные направления деятельности НПО «Империя металлов» (рис. 1):
производство и реставрация формующей оснастки и оборудования для макаронной и кондитерской отраслей промышленности, включая технологическое сопровождение при запуске в производство;

производство и реставрация оборудования для АПК – оборудование для переработки, очистки и сортировки зерновых культур и семян;

производство оснастки для всех отраслей промышленности и деталей по индивидуальным проектам;

проектирование и производство нестандартного оборудования по индивидуальным проектам для всех отраслей промышленности;

реализация металлообрабатывающего оборудования, высокотехнологичного инструмента и оснастки;

консалтинг и инжиниринг в области механообработки — разработка технологических процессов и конструкторской документации, технологическое и техническое сопровождение;

производство металлопластиковых светопрозрачных конструкций;

проектирование, производство и монтаж металлоконструкций любой сложности;

проектирование, монтаж и пусконаладочные работы систем водо-, газо- и теплоснабжения;

проведение сертификационных испытаний оборудования и продукции – Испытательный центр «Технологии будущего».

Производственная база предприятия представляет собой обширный парк современного высокоточного оборудования, в основном ЧПУ – токарный участок, фрезерный участок, инструментальный участок, сверлильный участок, заготовительный участок, сварочный участок. Мощности завода оснащены таким образом, что позволяют производить продукцию среднесерийно и серийно в 2 смены.

НПО «Империя металлов» имеет сертификаты соответствия производства и лицензии на все виды производимых товаров, работ и услуг. Производственные площади «Империи металлов» занимают 5 000 м².

На сегодняшний день НПО «Империя металлов» является профессионалом высокого класса в производстве высокоточной формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности. Согласно последним данным аналитических исследований, НПО «Империя металлов» – лидер среди ведущих участников этого рынка, на долю которого приходится более 50 % производства оснастки для макаронной и кондитерской отраслей среди стран СНГ (рис. 2 – рис. 6).

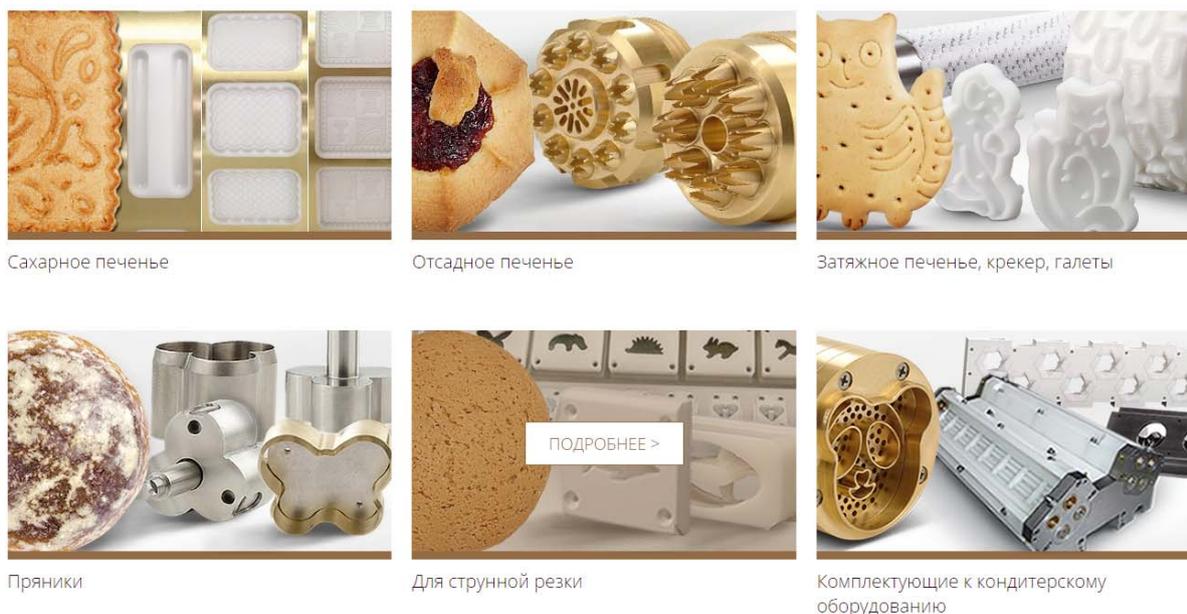


Рис. 2 – Оснастка для производства кондитерских изделий



Рис. 3 – Валы для производства кондитерских изделий

Оснастка для производства сахарного печенья. Для производства сахарного печенья изготавливаются роторы разных размеров и конфигураций для всех видов ротационных машин, включая машины известных мировых брендов. В зависимости от технических требований оборудования и технологий заказчика по производству сахарного печенья предложены следующие конструктивные решения:

цельнолатунный формующий ротор с полимерными формующими вставками;

ротор формующий со сменными латунными кольцами с полимерными вставками;

цельнополимерный формующий ротор для печенья;

ротор формующий с полимерными кольцами.



Рис. 4 – Диафрагменная резка

Формующие вставки к латунным кольцам и полимерные кольца выполнены из пищевого полимера, обладают высокой износостойкостью, высокой механической стойкостью к деформациям и механическим воздействиям. Формующие элементы выполняются с высочайшим уровнем точности, что гарантирует совершенную формовку даже самых мелких и тонких элементов.



Рис. 5 – Запчасти для производства кондитерских изделий

Формовочный ротор для производства печенья со сменными кольцами представляет собой стальное основание с заменяемым кольцами. Кольца являются съемными и, в случае выхода из строя, могут быть заменены на запасной комплект или новый комплект колец, идентично изготовленный по имеющейся программе на станках с ЧПУ.

Возможна комплектация роторов подшипниковыми узлами, шестерней и втулками.

Для заливки протокриловых роторов для производства сахарного печенья предлагаются суперточные мастер-пуансоны.

Оснастка для затяжного (крекерного) печенья. Для производства затяжного печенья, крекеров и галет изготавливаются вырубные роторы (валы) разных размеров и конфигураций для всех линий затяжного печенья, включая линии известных мировых брендов, а также накладки на вырубной ротор. В производстве формующей оснастки используется только высокоточное современное оборудование с ЧПУ, что позволяет добиваться высокой точности и повторяемости форм для производства печенья.

Вырубной ротор может быть изготовлен в двух вариантах:

каркасная стальная основа с полимерными кольцами;

каркасная стальная основа с полимерными накладками.

Полимерные накладки могут иметь штифты для прокола тестовой заготовки 3-х вариантов:

полимерные;

латунные;

нержавеющая сталь.

По заданию заказчика могут быть изготовлены накладки на вырубной ротор, представляющие собой пластину с крепежными отверстиями, на которой

расположены высекающий и формующий контуры, используется для крепления на барабан (основу) вырубного ротора.

Можно выбрать любую форму из каталога НПО «Империя металлов» или сделать уникальный эскиз будущего изделия самостоятельно. В любом случае квалифицированные специалисты с помощью высокоточного современного оборудования с ЧПУ с высоким уровнем точности выразят ваш замысел в материале.

Оснастка для производства песочного печенья. Для производства отсадного (песочного, сдобного) печенья изготавливаются отсадные матрицы различной комплектации, имеется огромный выбор отсадных фильер (отсадные вставки, дюзы, формы). Производится оснастка и комплектующие для отсадных машин любых производителей, включая машины известных мировых брендов.

С помощью этой оснастки можно производить все виды отсадного печенья:

- отсадное песочное печенье;
- отсадное песочное печенье с начинкой;
- отсадное двухцветное песочное печенье;
- отсадное сдобное печенье;
- разновидности зефира (в виде курабье).

Отсадные фильеры для однобуннерных машин изготавливаются:

- из полимера и латуни;
- с гладкими или рифлеными выходными каналами;
- фильера может иметь два варианта крепления – резьбовое или под гайку.

Отсадные фильеры для двухбуннерных машин изготавливаются методом многокоординатного фрезерования из латуни.

Можно выбрать любую форму из каталога НПО «Империя металлов» или сделать уникальный эскиз будущего изделия самостоятельно. В любом случае квалифицированные специалисты с помощью высокоточного современного оборудования с ЧПУ с высоким уровнем точности выразят ваш замысел в материале.

Оснастка для производства пряников. Для производства пряников предлагаются матрицы под струнную обрезку следующей комплектации:

платформа может быть изготовлена из стали или алюминия для формования одноцветных и двухцветных изделий;

формующая часть может быть выполнена в виде цельной накладки с формующими отверстиями и пазами под держатели струны;

формующая часть также может быть выполнена в виде отдельных формирующих элементов из полимера.

Предлагаются матрицы и сегменты для диафрагменной резки (для производства пряника с наполнителем).

Предлагаются штампы (формы) ручного формования для изготовления печатных (сувенирных) пряников, выполняемые по индивидуальным эскизам заказчика.

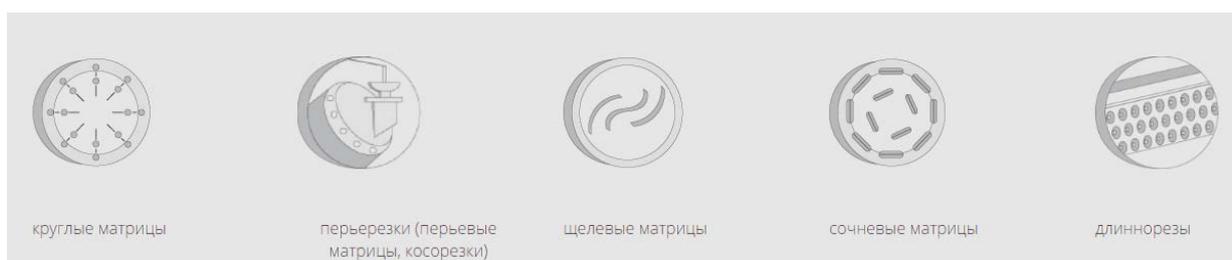


Рис. 6 – Матрицы и фильеры для для производства макаронных изделий

Матрицы и фильеры для производства всех видов макарон

- Освоено производство всех видов макаронных матриц:
 - круглая матрица для короткорезанных макаронных изделий; «перьевая» матрица для макарон с косым срезом; «сочневая» матрица для изделий лазанья, бежбармак; прямоугольная матрица для длиннорезанных макаронных изделий (спагетти); «щелевая» матрица для макаронных изделий лазанья, бантики, бешбармак; конус косога реза для бешбармака с косым срезом
- Освоено производство макаронных фильер
 - более 500 разновидностей фильер для макаронных изделий; реализация индивидуальных форм любой сложности согласно запроса заказчика.
- Освоено производство и реставрация узлов и деталей макаронного оборудования: шнеков; шнековых камер; импеллеров и т.д.
- Производится полное технологическое сопровождение при введении продукции в эксплуатацию, а также помощь при любых производственных вопросах.

Список литературы: 1. Полянский В.И. ООО "Империя Металлов" / В.И. Полянский // Физические и компьютерные технологии: труды 16-й Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК "ФЭД". – 2010. – С. 156-160.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКА НА ЗУБОШЛИФОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф.

(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

Лищенко Н.В., канд. техн. наук, доц.

(Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина)

Рябенков И.А., канд. техн. наук

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, Харьков, Украина)

В работе приведена методика определения припуска на зубошлифование на основе дискретных измерений. Описанный способ восстановления сигнала, характеризующего величину припуска во всех впадинах заготовки зубчатого колеса, в том числе тех, которые были пропущены при измерениях, позволяет существенно уменьшить число необходимых измерений для выявления припуска (по правой и левой стороне каждой впадины).

Ключевые слова: *зубошлифование, зубчатое колесо, припуск, измерения*

В роботі наведено методику визначення припуску на зубошліфування на основі дискретних вимірювань. Описаний спосіб відновлення сигналу, що характеризує величину припуску у всіх западинах заготовки зубчастого колеса, в тому числі тих, які були пропущені при вимірах, дозволяє істотно зменшити число необхідних через вимірювань для виявлення припуску (по правій і лівій стороні кожної западини).

Ключові слова: *зубошліфування, зубчасте колесо, припуск, вимірювання*

The paper shows a method of determining tooth-grinding allowance on the basis of discrete measurements. The described method of recovering a signal representing the magnitude of all the depressions allowance gear blanks, including those which would, if missed by the measurements can significantly reduce the number of measurements required for identification allowance (the right and left side of each cavity).

Keywords: *tooth-grinding, gear, stock, measurement*

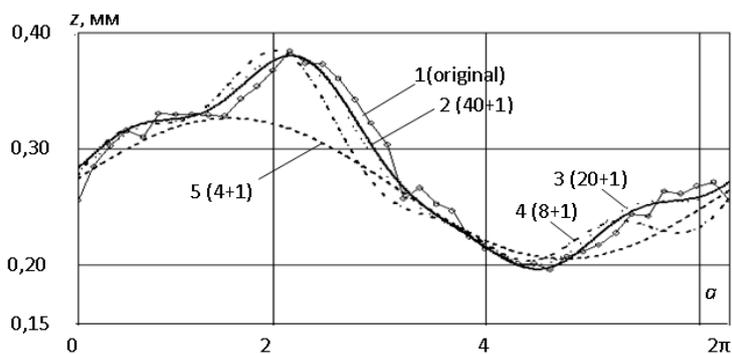
Зубошлифование профильным кругом по методу копирования широко используется в промышленности при изготовлении зубчатых колес (ЗК) для авиационного и транспортного машиностроения [1]. Операцию профильного зубошлифования на станке с ЧПУ можно разделить на два вида работ: измерение припуска на этапе наладки станка и зубошлифование на этапе обработки. Измерение выполняют профильным шлифовальным кругом или специальным измерительным щупом. В первом случае (шлифовальным кругом) измерения производят на заготовках с неудовлетворительным качеством поверхности, например, после цементации и закалки заготовки. Используется сигнал акустической эмиссии, возникающий в момент касания боковых сторон профиля зубошлифовального круга и впадины заготовки ЗК. Интенсивность этого сигнала при попеременном касании правой и левой стороны профиля впадины должна быть одинаковой. Во втором случае (измерительным щупом) измерения производят по относительно чистой поверхности перед зубошлифованием, а также после его окончания (контроль после обработки). В основе обоих методов из-

мерения лежит способ центрирования измерительного инструмента относительно исследуемой впадины. Однако в литературе нет сведений об особенностях автоматического цикла измерения и обработки ЗК на станках указанного типа, нет объективного анализа различных способов обмера впадин ЗК перед зубошлифованием. Нет данных об оптимальном числе измерений припуска по впадинам ЗК, расположенным при различном угловом положении по измерительной окружности ЗК. Отсутствие данных о связи числа измеренных впадин с точностью оценки распределения припуска по измерительной окружности ЗК не позволяет выполнить оптимизацию цикла зубошлифования, включающего время на наладку и обработку.

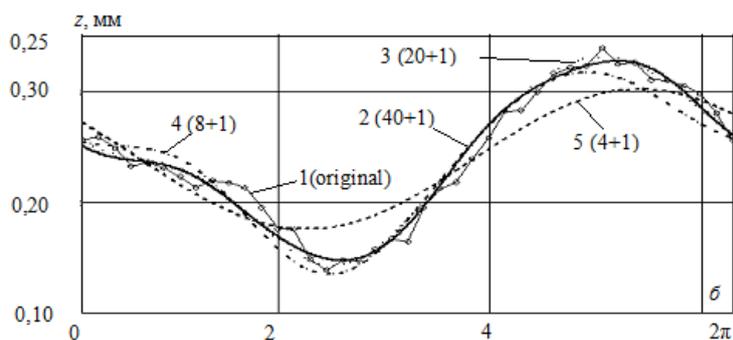
Целью статьи является апробация способа восстановления информации о величине припуска по результатам его дискретных измерений. При разработке способа восстановления информации о припуске могут быть использованы различные методы идентификации модели восстанавливаемого сигнала, характеризующего величину припуска. Например, оценку параметров модели производят методом наименьших квадратов, если заранее известно, что в процессе присутствует гармоническая компонента, период которой задан [2]. Однако, как показано ниже в основе восстанавливаемой функции (piecing out function) содержится не одна синусоидальная компонента, а определённый набор таких компонент [3] с разными периодами изменения, кратными периоду основной гармоники.

На примере заготовки ЗК с 40 впадинами (линия 1 на рисунке) выполнено восстановление непрерывной огибающей линии сигнала о припуске при различном числе N дискретных измерений припуска: $N = 40$ (линия 2), $N = 20$ (линия 3), $N = 8$ (линия 4) и $N = 4$ (линия 5).

Восстановление (piecing out) сигнала выполнено на основании частотного преобразования Фурье по дискретным отсчётам (samples) с равным угловым шагом [4]. Число отсчётов (40, 20, 8 и 4) соответствует фактическому числу измерений припуска с постоянным угловым шагом между отсчётами (9° , 18° , 45° и 90°). В соответствии с известной теоремой отсчётов В. А. Котельникова (Nyquist–Shannon sampling theorem) потенциально выявляемые частоты гармоник для указанного числа отсчётов составляют $20f$, $10f$, $4f$ и $2f$, где f – частота основной гармоники с периодом 2π . Здесь следует отметить, что понимается под частотой гармонических составляющих сигнала о припуске. Дело в том, что традиционное преобразование Фурье при всех его разновидностях, используемых в компьютерных технологиях (прямое, обратное, непрерывное, дискретное, быстрое), связывает временную и частотную области изменения информационного сигнала. В этом случае частота гармонических составляющих сигнала измеряется в герцах. Однако в данном случае первичный сигнал о припуске – это изменение припуска не во времени, а по длине измерительной окружности заготовки ЗК. Здесь удобнее пользоваться условной (относительной) частотой первичного сигнала, под которой понимают величину, обратную шагу (периоду) этого сигнала. Например, первая гармоника сигнала о припуске имеет шаг $2\pi R$ мм, где R – радиус измерительной окружности заготовки.



а



б

Рисунок – Восстановление сигнала о припуске по правой (а) и левой (б) стороне впадин (добавка «+1» означает дополнение до периода 2π)

Особенностью частотного анализа дискретных сигналов, характеризующих ограниченный (2π) участок исходного сигнала (аналог временного процесса на ограниченном участке времени), является необходимость многократного повторения дискретного исходного сигнала протяженностью 2π (в радианах) или $2\pi R$ (в миллиметрах). Т.к. периодические составляющие дискретного сигнала теоретически могут быть выявлены только для исходного «бесконечного» во времени периодического сигнала. Причём, с уменьшением числа отсчётов на периоде 2π число необходимых повторов сигнала на этом периоде (40 отсчётов, 20 отсчётов, 8 отсчётов и 4 отсчёта) возрастает. Путём моделирования в программе LabVIEW 8.6 экспериментально установлено число необходимых повторов указанных периодов дискретных последовательностей: 3, 5, 10 и 20 повторов. При уменьшении числа повторов, по сравнению с указанными числами, идентификация амплитуд и фаз составляющих гармоник затрудняется.

Описанный способ восстановления сигнала, характеризующего величину припуска во всех впадинах заготовки ЗК, в том числе тех, которые были пропущены при измерениях, позволяет существенно уменьшить число необходимых измерений для выявления припуска (по правой и левой стороне каждой впадины).

Список литературы: 1. Мильштейн М.З. Чистовая обработка зубчатых колёс / М.З. Мильштейн. – К.: Техніка, 1971. – 168 с. 2. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов; под ред. А.А. Первозванского. – М.: Наука, 1975. – 344 с. 3. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колёс / Б.А. Тайц. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с. 4. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2009. – 656 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОСРЕЗОВ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Андилахай А. А., докт. техн. наук, проф.

(ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь, Украина)

Установлено, что при абразивной обработке затопленными струями деталей из пластичных материалов формируются как полные, так и неполные микросрезы. Полные микросрезы образуются при небольших углах входа абразивных зерен в обрабатываемый металл ($10-30^{\circ}$), а неполные срезы – при больших углах вследствие недостаточной кинетической энергии движущихся абразивных зерен. Установлено, что с течением времени обработки шероховатость поверхности стабилизируется на одном уровне независимо от исходной шероховатости поверхности. При исходной шероховатости $Ra=0,5 \dots 1,5$ мм и зернистости абразива 40 стабилизация шероховатости поверхности происходит на уровне $Ra = 0,8 \dots 1,25$ мкм в течение 15...25 мин.

Ключевые слова: абразивная обработка, микросрез, зернистость абразива, шероховатость поверхности, съём металла, время обработки

Встановлено, що при абразивній обробці затопленими струменями деталей з пластичних матеріалів формуються як повні, так і неповні мікросрези. Повні мікросрези утворюються при невеликих кутах входу абразивних зерен в оброблюваний метал ($10-30^{\circ}$), а неповні зрізи - при великих кутах внаслідок недостатньої кінетичної енергії рухомих абразивних зерен. Встановлено, що з плином часу обробки шорсткість поверхні стабілізується на одному рівні незалежно від вихідної шорсткості поверхні. При вихідній шорсткості $Ra = 0,5 \dots 1,5$ мм і зернистості абразиву 40 стабілізація шорсткості поверхні відбувається на рівні $Ra = 0,8 \dots 1,25$ мкм протягом 15 ... 25 хв.

Ключові слова: абразивна обробка, мікроріз, зернистість абразиву, шорсткість поверхні, знімання металу, час обробки

It was found that the abrasion submerged jet parts from plastic materials formed by both complete and incomplete mikrosrezy. Full mikrosrezy formed at small entrance angles of abrasive grains into the treated metal ($10-30^{\circ}$) and partial sections - at large angles due to lack of kinetic energy of the moving abrasive grains. It is found that over time the surface roughness of the processing is stabilized at the same level regardless of the initial surface roughness. When the initial roughness of $Ra = 0,5 \dots 1,5$ mm and 40 grit abrasive stabilization of surface roughness occurs at the level of $Ra = 0,8 \dots 1,25$ mm for 15 ... 25 min.

Keywords: abrasion, mikrosrez, abrasive grit, surface roughness, material removal, processing time

Постановка проблемы. Повысить эффективность зачистки сложнопрофильных деталей малой жесткости массой до 3 г можно применением струйно-абразивной обработки, осуществляемой зернистым абразивом с подачей абразивной суспензии через сопла под высоким давлением. Этот метод обеспечивает удаление заусенцев, округление острых кромок, очистку поверхностей деталей от окисной пленки, подготовку деталей под гальванические покрытия и др. Основной его недостаток состоит в интенсивном износе сопел, через которые прокачивается абразивная суспензия. В связи с этим, перспективным является метод обработки, осуществляемый с помощью струй сжатого воздуха, затоп-

ленных абразивной суспензией, т.к. при такой схеме обеспечивается сохранность (долговечность) сопел, подающих сжатый воздух. Сущность данного метода обработки заключается в том, что в рабочую камеру, содержащую свободно помещенные обрабатываемые детали и абразивную суспензию, подают сжатый воздух в виде струй, расположенных так, чтобы достигались обработка и перемешивание деталей, а также обеспечивалась сохранность внутренних поверхностей рабочей камеры. Вместе с тем этот метод недостаточно изучен, что требует проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований и выработки на их основе научно обоснованных практических рекомендаций. Поэтому изыскание путей повышения эффективности абразивной обработки деталей затопленными струями является актуальной задачей.

Анализ последних достижений и литературы. Установлено, что опубликованные в научно-технической литературе работы, посвященные исследованию струйно-абразивной обработки, а также работы, связанные с защитой поверхностей от абразивного износа, разрознены, по многим вопросам отсутствуют необходимые данные, обобщения и рекомендации, не освещены технологические процессы обработки [1 – 3]. Известные теоретические подходы к определению параметров струйно-абразивной обработки базируются в основном на положениях теории расчета деталей машин на трение и износ, в некоторых случаях сводятся к определению глубины отпечатка сферической частицы на металлической поверхности и не учитывают закономерности процесса стружкообразования, тогда как удаление обрабатываемого материала происходит в результате осуществления процесса резания и пластического деформирования. Это не позволяет в полной мере раскрыть физические закономерности и определить технологические возможности струйно-абразивной обработки. По этой причине до настоящего времени не разработана общепринятая теория, отражающая взаимодействие незакрепленного абразивного зерна и обрабатываемых деталей, движущихся в воздушной струе с жидкостью. Вместе с тем, необходимость целенаправленного управления процессом и получения стабильных результатов абразивной обработки деталей затопленными струями требует раскрытия сущности явлений, сопровождающих процесс. Цель работы – обоснование условий повышения эффективности процесса абразивной обработки затопленными струями на основе экспериментальных исследований закономерностей образования микросрезов на поверхностях деталей.

До настоящего времени получение четкого изображения микрорельефа поверхности при более чем двухсот – трехсоткратном увеличении под оптическим микроскопом практически не возможно из-за малой глубины резкости. Применение электронного микроскопа сопряжено со значительными затратами поддержания его в рабочем состоянии, известной трудоемкостью подготовки и сложностью поиска, интересующих исследователя, фрагментов поверхности. Поэтому в работе предложено получать фотографии обработанных поверхностей с увеличением до 1600 крат с практически неограниченной глубиной резкости. Для изучения состояния рельефа поверхности использована методика компьютерного трехмерного моделирования с помощью микроинтерферометра с электронной камерой ScopeTek MDC 140N. Моделирование рельефа поверх-

ности посредством перехода от фрагментарных горизонтальных (послойных) снимков сечений микрорельефа ScopePhoto к трехмерному топографическому представлению позволило исследовать тенденцию изменения микрорельефа.

Для построения модели использовали программную среду трехмерного моделирования Helicon 3D Viewer. Построение трехмерной модели поверхности осуществляли в несколько этапов. На первом этапе собирали фотоинформацию для получения четкого изображения элементов рельефа от наиболее глубокой впадины до наиболее высокого выступа. Для этого на исследуемой поверхности с резкостью, соответствующей максимальной глубине микрорельефа, производили снимок, который заносили в базу данных (электронную папку). Далее с шагом 0,5...1 мкм переводили резкость вверх до наиболее высокой точки микрорельефа, выполняя в каждом сечении снимок, и заносили его в базу данных. Далее, на втором этапе, для возможности обработки при помощи вычислительной техники производились анализ, селекция и суммирование снимков для получения результирующего изображения. На следующем этапе запускали программную среду трехмерного моделирования Helicon 3D Viewer и открывали полученную базу данных. Файлы со снимками, полученными на разных высотах, передавались в среду трехмерного моделирования Helicon 3D Viewer. Следующим этапом являлось создание базовой модели поверхности. Далее, базовая модель визуализировалась согласно полученным снимкам и приобретала форму поверхности, адекватной реальной.

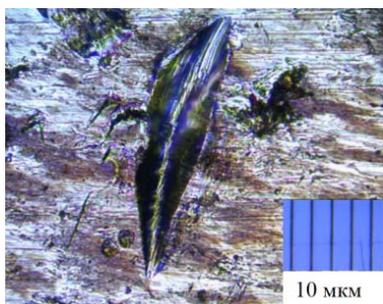


Рис. 1 – След абразивного зерна на поверхности латунного (ЛС59.1) образца. Абразивный материал: шлифзерно – 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм) × 625

На основе этой методики были получены фотографии, а также модели обработанной поверхности детали из латуни ЛС59.1 (рис. 1) с четким изображением следа абразивного зерна после пяти секунд абразивной обработки затопленными струями. Для наглядности на рис. 2 приведены фотографии следа абразивного зерна под разными углами зрения (в пределах $7 - 60^{\circ}$), что является своего рода панорамой поверхности детали со следом абразивного зерна. Это дает полное представление о форме следа зерна, его геометрических размерах и характере образования, что открывает

возможности исследования топографии поверхности детали (шероховатости поверхности) после абразивной обработки затопленными струями.

Как следует из рис. 1 и 2, след абразивного зерна представляет собой углубление (кратер), по боковым поверхностям и впереди которого имеются относительно небольшие навалы металла, образованные в результате его пластического деформирования. Но основная часть металла из кратера все же удалена в виде микростружки. Это свидетельствует о том, что в данном случае кинетической энергии движущегося абразивного зерна достаточно для того, чтобы обеспечить полный микросрез и не остановиться в обрабатываемой детали.

На рис. 1 и 2 также видно, что на дне углубления (кратера) остаются характерные борозды, соответствующие профилю поверхности абразивного зерна. Проведенный анализ борозд по длине следа указывает на то, что абразивное зерно по мере внедрения в металл под острым углом практически не проворачивается, так как борозды по длине постоянны, хотя реакция силы резания, прилагаемой по касательной к вписанной в многогранник сфере (зерну), должна была бы после первого же касания придать абразивному зерну вращение, в результате чего зерно должно покатиться по поверхности детали. Из этого следует, что масса абразивного зерна, а, следовательно, и момент инерции относительно центра масс значительно превышают момент силы резания. Поэтому можно с большой степенью уверенности утверждать, что абразивные зерна с одинаковыми габаритными размерами, но с большей плотностью материала будут оставлять более длинные борозды и, следовательно, обеспечат повышение производительности обработки. Вопрос лишь в том, возможно ли сообщить высокую скорость затопленной струей зернам с большим удельным весом, такую же, как и зернам с меньшим удельным весом. Этот вывод согласуется с формулой кинетической энергии движущегося абразивного зерна.

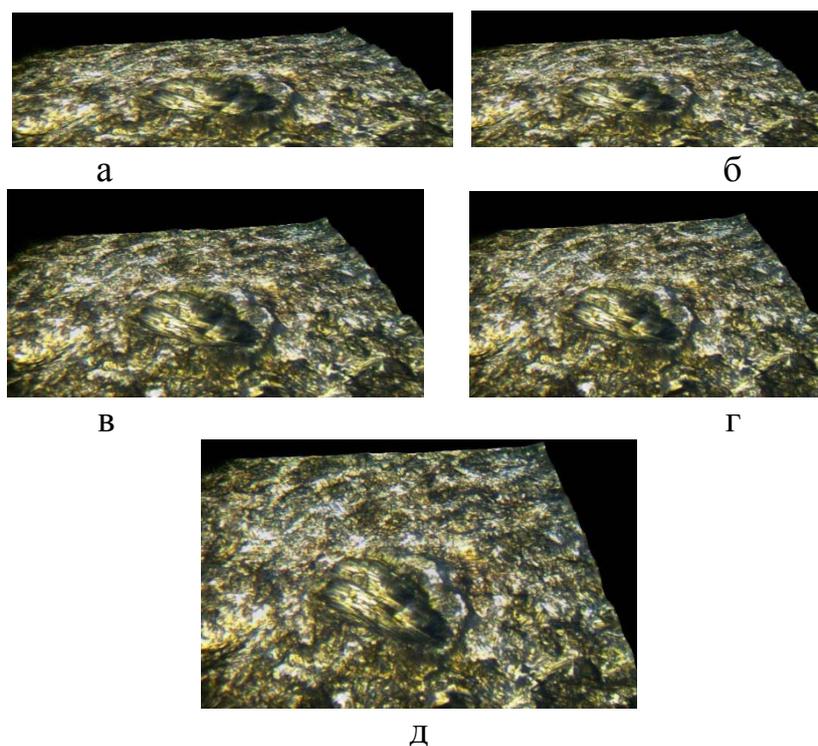


Рис. 2 – Панорама поверхности детали из латуни ЛС59.1 со следом абразивного зерна после 5-ти секунд абразивной обработки затопленными струями: а – угол зрения – 7° ; б – 15° ; в – 30° ; Г – 45° ; д – 60°

С целью статистического анализа характера образования следов абразивных зерен при абразивной обработке затопленными струями были получены фотографии топографии обработанных поверхностей деталей для различных случаев. Так, на рис. 1 приведена фотография плоской поверхности образца из латуни ЛС59.1, на которой виден след абразивного зерна. Нетрудно видеть, что форма следа микросреза соответствует сегментообразной форме, т.е. в данном

случае образуется полный срез, имеющий участки входа и выхода абразивного зерна из контакта с обрабатываемой деталью. Как показали исследования, угол входа зерна в металл в этом случае небольшой – в пределах 20° . Это соответствует известным экспериментальным данным, полученным при исследовании струйно-абразивной обработки деталей из пластичных материалов [3, 4], согласно которым процесс съема пластичного материала наиболее эффективен при небольших углах атаки: $10\text{--}30^{\circ}$. В этом случае образуется полный микросрез – абразивное зерно не останавливается в обрабатываемом материале.

Таким образом, экспериментально установлено, что в условиях абразивной обработки затопленными струями, так же как и при обычной струйно-абразивной обработке пластичных материалов [3] формирование полного микросреза происходит при небольшом угле входа абразивного зерна в обрабатываемый металл. Это подтверждается многочисленными фотографиями единичных срезов, образуемых на обрабатываемой поверхности детали от работы отдельных зерен (рис. 1, рис. 3,б,в).

С увеличением угла входа абразивного зерна в обрабатываемый металл, как правило, полный срез не образуется (рис. 3,а, рис. 4), т.к. абразивное зерно полностью теряет скорость и, по сути, останавливается в обрабатываемом металле. Поэтому данный случай является наиболее типичным для рассматриваемого метода абразивной обработки затопленными струями, поскольку на обрабатываемой поверхности детали формируются в основном именно такие формы микросрезов. Это подтверждается экспериментальными исследованиями топографии обработанной поверхности (рис. 3).

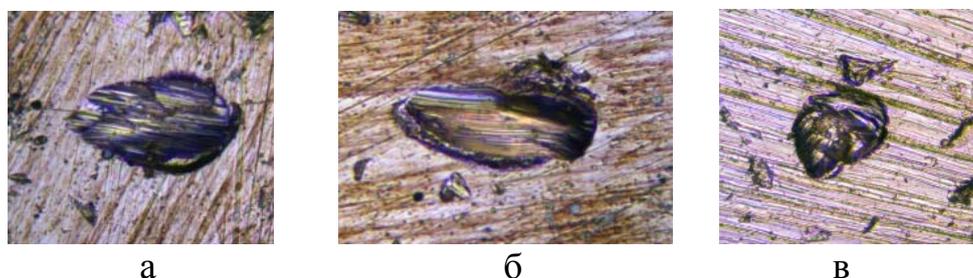


Рис. 3 – След удара абразивного зерна по нормали, (а) и под острым углом (б, в) к поверхности латунного образца из ЛС59.1. Абразивный материал: шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый), зернистость 63П (630 мкм). $\times 625$

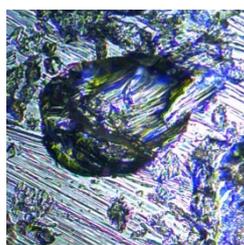


Рис. 4 – След абразивного зерна с образованием валика в направлении удара

Из этого можно заключить, что с увеличением угла входа абразивного зерна в обрабатываемый металл его кинетической энергии недостаточно для осуществления полного среза и поэтому происходит как бы остановка зерна в металле. След «тупиковой» формы свидетельствует о том, что в конце следа вершина абразивного зерна по мере углубления в металл потеряла скорость, однако это еще не означает, что и само зерно остановилось. В переносном смысле можно было бы

считать, что, приближаясь под острым углом к поверхности, абразивное зерно

как бы «споткнулось», оставило небольшую борозду и покатило. Это подтверждается тем, что длина борозды по отношению к поперечному размеру абразивного зерна составляет всего 2– 5 % (рис. 5). Следовательно, для образования полного среза необходимо увеличить кинетическую энергию движущегося абразивного зерна путем увеличения скорости его движения или массы (зернистости абразивного порошка).

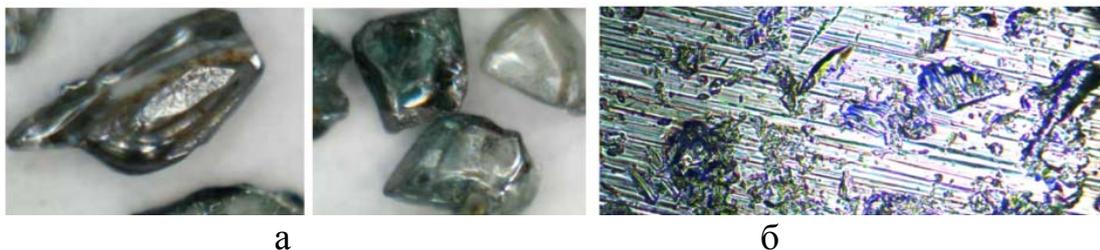


Рис. 5 – Соотношение габаритных размеров абразивных зерен 63С зернистостью 40 (400 мкм) (а) и их следов на латунном образце ЛС59.1(б). $\times 50$

Установлено, что удаленный металл при взаимодействии отдельного зерна с деталью имеет форму микросреза, типичного для процессов шлифования, в частности, полученного при микрорезании латуни [5]. Это указывает на то, что процесс съема металла подчиняется законам резания (стружкообразования). Следовательно, правомочно рассмотрение процесса образования микросрезов при абразивной обработке затопленными струями с позиции теории резания.

Состояние поверхностного слоя детали после механических и физико-механических методов обработки характеризуется в основном параметрами шероховатости, остаточными напряжениями и наклепом (глубиной и степенью упрочнения). Поверхностный слой детали после абразивной обработки затопленными струями характеризуется такими же параметрами [4].

Шероховатость поверхности после абразивной обработки затопленными струями главным образом зависит от исходной шероховатости; скорости, и размера абразивных зерен; времени обработки. При этом имеют место две стадии формирования микрорельефа поверхности. На первой стадии происходит удаление наиболее выступающих неровностей, а на второй стадии – формирование однородного по всем направлениям микрорельефа поверхности. Микрорельеф поверхности представляет собой совокупность следов (лунок), оставляемых на поверхности абразивными зернами, причем расположение лунок носит случайный характер. Формирование микрорельефа поверхности происходит в течение вполне определенного времени (10...25 мин обработки), а затем процесс стабилизируется, и микрорельеф поверхности не изменяется. Соответственно не изменяются и параметры шероховатости поверхности.

Подтверждением тому являются результаты экспериментальных исследований, приведенные на рис. 6. С течением времени обработки τ высота микронеровностей (параметр шероховатости поверхности R_a) первоначально увеличивается, а затем стабилизируется и остается неизменным. Причем, данная закономерность справедлива для различных значений исходной шероховатости поверхности $R_{a,исх}$, изменяющихся в пределах 0,5...1,0 мкм. Как следует из рис.

б, чем меньше исходная шероховатость поверхности $R_{a.исх}$, тем меньше шероховатость поверхности R_a , образуемая в процессе обработки. При этом исходная шероховатость поверхности $R_{a.исх}$ фактически не влияет на время обработки, при котором наступает стабилизация шероховатости поверхности R_a . В данном случае наибольшее значение шероховатости поверхности $R_a=1,8$ мкм образуется приблизительно за 15 мин обработки. Таким образом, экспериментально установлено, что одна и та же шероховатость поверхности может быть получена при различных значениях исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$.

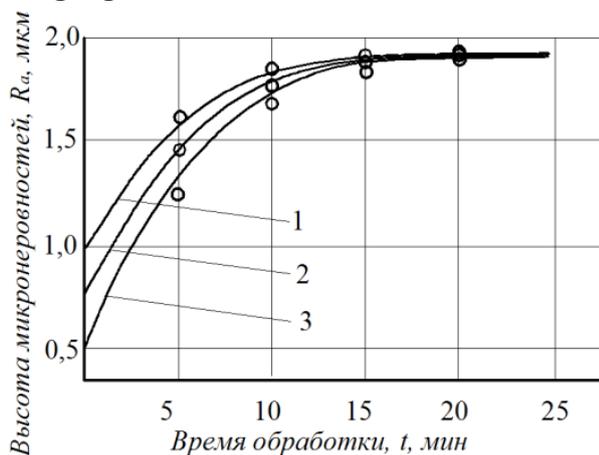


Рис. 6 – Зависимость шероховатости поверхностей образцов от времени обработки при исходной шероховатости: 1 – $R_{a.исх}=1,0$ мкм; 2 – $R_{a.исх}=0,75$ мкм; 3 – $R_{a.исх}=0,5$ мкм. Условия обработки: абразив 63С (карбид кремния зеленый) зернистость 63

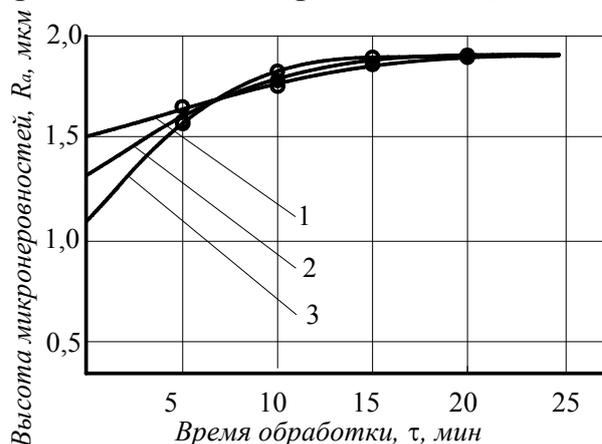


Рис. 7 – Зависимость шероховатости поверхностей образцов от времени обработки при увеличении исходной шероховатости:

- 1 – $R_{a.исх}=1,5$ мкм;
- 2 – $R_{a.исх}=1,25$ мкм;
- 3 – $R_{a.исх}=1,0$ мкм

Как следует из рис. 7, с увеличением исходной шероховатости поверхности в пределах $R_{a.исх}=1,0...1,5$ мкм также имеет место увеличение шероховатости поверхности R_a с течением времени обработки τ , а затем ее стабилизация во времени. Наибольшая шероховатость поверхности равна $R_a=1,8$ мкм и фактически не зависит от исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, что соответствует предыдущему случаю (рис. 6). Однако, время обработки, при котором происходит стабилизация во времени шероховатости поверхности, увеличивается до 25 мин (рис. 7). Следовательно, чем выше исходная шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, тем больше время, необходимое для обеспечения стабилизации микрорельефа обработанной поверхности. Таким образом, экспериментально установлены зависимости шероховатости поверхности от времени обработки при различной исходной шероховатости $R_{a.исх}$, а также определено время, необходимое для обеспечения стабилизации микрорельефа обработанной поверхности. Параметры обработки устанавливались следующими: абразивный материал – шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый) зернистостью 40П (400 мкм); давление сжатого воздуха перед соплом 0,5 МПа; количество абразивного материала 0,18 л; объем воды в рабочей камере 3 л. На основе полученных экспериментальных данных можно заключить, что при формировании шероховатости возможны три

случая: в процессе обработки исходная шероховатость поверхности увеличивается; формируется новый микрорельеф без изменения показателя исходной шероховатости; шероховатость поверхности в процессе обработки уменьшается.

Очевидно, возникновение того или иного случая зависит от высоты неровностей исходной поверхности, размеров лунок, оставляемых абразивными зернами, количества зерен, контактирующих с обрабатываемой поверхностью, а также от времени, необходимого для формирования нового микрорельефа. Таким образом, реальные технологические особенности процесса формирования микрорельефа позволяют представить его в виде последовательности единичных актов контактного взаимодействия на элементарном участке обрабатываемой поверхности.

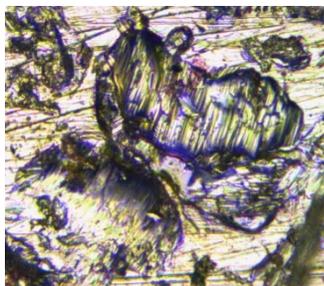


Рис. 8 – Фотография единичного следа абразивного зерна на поверхности латунного образца. $\times 625$

Каждый единичный акт контактного взаимодействия вызывает определенные изменения на обрабатываемой поверхности. Происходит деформация выступов профиля, удаление материала из лунки, в окрестности точки контакта формируется новый микрорельеф поверхности. На рис. 8 приведена фотография единичных контактов взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью, т.е. реальный процесс формирования шероховатости поверхности происходит в течение вполне определенного промежутка времени.

Каждый единичный акт контактного взаимодействия вызывает определенные изменения на обрабатываемой поверхности. Происходит деформация выступов профиля, удаление материала из лунки, в окрестности точки контакта формируется новый микрорельеф поверхности. На рис. 8 приведена фотография единичных контактов взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью, т.е. реальный процесс формирования шероховатости поверхности происходит в течение вполне определенного промежутка времени.

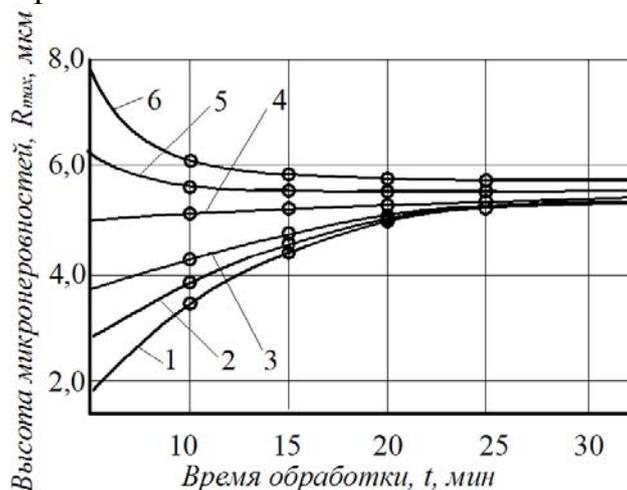


Рис. 9 – Изменение высоты микронеровностей поверхности R_{max} с течением времени обработки τ в зависимости от исходной шероховатости R_{max} :

1 – 1,6 мкм; 2 – 3,0 мкм; 3 – 3,6 мкм; 4 – 5,0 мкм; 5 – 6,4 мкм; 6 – 8 мкм.

Условия обработки: шлифзерно 63С; зернистость абразива 63П (630 мкм); угол наклона осей сопел к горизонту 15° ; давление сжатого воздуха 0,5 МПа

На рис. 9 приведены графики изменения высоты микронеровностей поверхности R_{max} по мере увеличения времени обработки τ для более широкого диапазона значений исходной шероховатости. Как видно, высота микронеровностей поверхности R_{max} в первоначальный момент обработки претерпевает из-

менения (уменьшение или увеличение в зависимости от исходной шероховатости), а затем стабилизируется во времени, принимая значения $R_{max}=5,6...5,8$ мкм. Образцы с большей высотой микронеровностей дают крутую кривую уменьшения высоты микронеровностей, а с меньшей высотой микронеровностей – пологую кривую увеличения высоты микронеровностей.

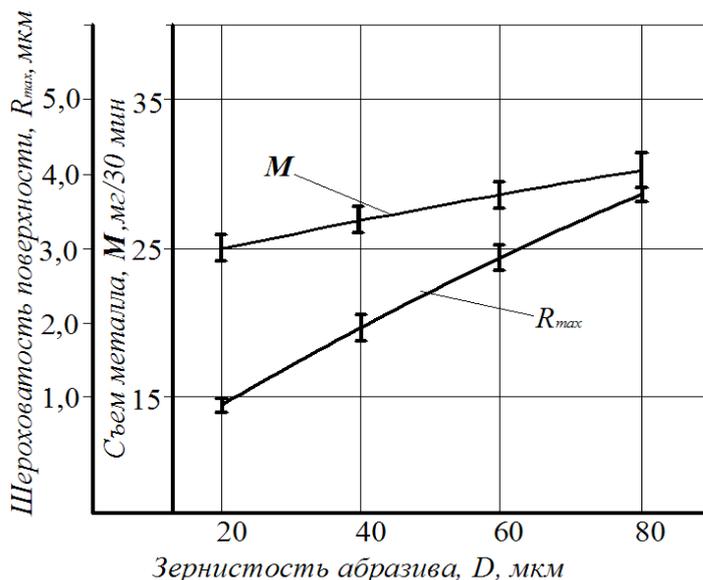


Рис. 10 – Зависимость шероховатости поверхности R_{max} и съема металла M от зернистости абразива 63С (карбид кремния зеленый) при исходной шероховатости $R_{max} = 0,8$ мкм (глянцевая поверхность)

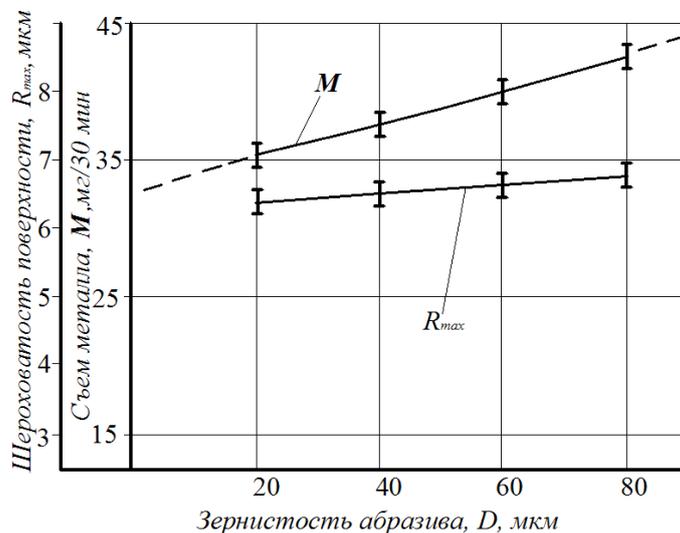


Рис. 11 – Зависимость шероховатости поверхности R_{max} и съема металла M от зернистости абразива 63С (карбид кремния зеленый) при исходной шероховатости $R_{max} = 6,3$ мкм

С целью выявления закономерностей формирования микрорельефа, полученного в результате абразивной обработки затопленными струями, выполнены экспериментальные исследования по установлению влияния зернистости абразива на съем металла и шероховатость поверхности (рис. 10, рис. 11) для различных значений исходной шероховатости.

Как следует из приведенных рисунков, имеет место слабовыраженное влияние зернистости абразива на съём металла и шероховатость поверхности. Вместе с тем, абсолютная величина съёма металла увеличилась в среднем на 24%. Это обусловлено тем, что с увеличением зернистости абразива увеличивается количество полных микросрезов, которые представляют собой неглубокие следы, но покрывают бóльшую часть площади обрабатываемой поверхности.

Выводы. 1. В работе разработана новая методика исследования топографии поверхности детали после ее абразивной обработки затопленными струями на основе компьютерного трехмерного моделирования с использованием программной среды Helicon 3D Viever с помощью микроинтерферометра с электронной камерой ScopeTek MDC 140N. Переход от фрагментарных горизонтальных (послойных) снимков сечений микрорельефа ScopePhoto к трехмерному топографическому представлению позволил исследовать тенденцию изменения микрорельефа обработанной поверхности.

2. Проведены комплексные экспериментальные исследования закономерностей образования микросрезов при абразивной обработке затопленными струями деталей из пластичных материалов и установлено, что в процессе формируются как полные, так и неполные микросрезы. Полные микросрезы образуются при небольших углах входа абразивных зерен в обрабатываемый металл ($10-30^{\circ}$), а неполные срезы – при больших углах вследствие недостаточной кинетической энергии движущихся абразивных зерен, что согласуется с известными экспериментальными данными, полученными при струйно-абразивной обработке. Установлено также, что отделение металла в процессе обработки происходит в результате образования микростружек и пластического оттеснения металла. Это указывает на возможность аналитического представления рассматриваемого процесса обработки с позиции теории резания металлов с учетом закономерностей перехода от процесса пластического деформирования металла к процессу резания (стружкообразования).

3. Экспериментально определена шероховатость поверхности при абразивной обработке затопленными струями и установлено, что с течением времени обработки она стабилизируется на одном уровне независимо от исходной шероховатости поверхности. Так, установлено, что при исходной шероховатости $Ra=0,5...1,5$ мм и зернистости абразива 40 стабилизация шероховатости поверхности происходит на уровне $Ra =0,8-1,25$ мкм в течение 15...25 мин. Следовательно, формирование шероховатости поверхности при абразивной обработке затопленными струями длится 15...25 мин.

Список литературы: 1. *Проволоцкий А.Е.* Струйно-абразивная обработка деталей машин / *А.Е. Проволоцкий.* – К.: Техника, 1989. – 177 с. 2. *Шманев В. А.* Струйно-абразивная обработка деталей ГТД / *В. А. Шманев, А. П. Шулепов, А. В. Мещеряков.* – М.: Машиностроение, 1995. – 143 с. 3. *Исупов М. Г.* Разработка, исследование технологии струйно-абразивной финишной обработки: дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / *Исупов М. Г.* – М.: РГБ, 2007. – 432 с. 4. *Андилахай А. А.* Абразивная обработка деталей затопленными струями / *А. А. Андилахай.* – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с. 5. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / *Э. В. Рыжов, А. А. Сагарда, В. Б. Ильицкий, И. Х. Чеповецкий.* – К.: Наук. думка, 1979. – 244 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНАЩЕННОЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Степанов М.С., докт. техн. наук, проф., декан, **Иванова М.С.**, канд. техн. наук
(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Выполнены экспериментальные исследования податливости технологической системы, оснащенной комбинированным осевым инструментом, в зависимости от величины, места и направления действия вектора неуравновешенной радиальной силы резания.

Ключевые слова: комбинированный осевой инструмент, смещение оси, податливость технологической системы.

Виконано експериментальні дослідження податливості технологічної системи, оснащеної комбінованим осьовим інструментом, в залежності від величини, місця та напрямку дії вектора неврівноваженої радіальної сили різання.

Ключові слова: комбінований осьовий інструмент, зміщення осі, податливість технологічної системи.

The experimental researches of pliability of the technological system with combined axial tool, depending on a size, place and direction of action of vector of unbalanced radial cutting force were executed.

Keywords: combined axial tool, displacement of axis, pliability of the technological system.

Введение. Точность обработки отверстий концевым инструментом во многом зависит от упругого смещения в технологической системе, которое возникает под влиянием неуравновешенной радиальной силы, возникающей в результате неравномерности нагрузки на режущие кромки инструмента [1,2,3], в том числе и комбинированного (КОИ) [4, 5]. Однако, в случае с КОИ, у которого в процессе резания принимают участие одновременно две и более ступени, имеет место возникновение неуравновешенной радиальной силы на каждой ступени, при этом величины и направления векторов этих сил зависят от длины ступеней и угла наклона стружечных канавок. Таким образом, экспериментальные исследования податливости технологической системы, оснащенной КОИ, являются актуальными.

Методика и техника экспериментальных исследований. Для измерения податливости технологической системы, оснащенной КОИ, в статических условиях были спроектированы и изготовлены экспериментальные установки (рис. 1), состоящие из нагрузочной и измерительной частей. Экспериментальные установки строились на базе вертикально-фрезерных станков моделей 6Р13Ф3 и 6Т80Ш (рис. 2), имеющих различные характеристики.

Для воссоздания неуравновешенной составляющей радиальной силы на первой ступени КОИ перемещали стол 1 в горизонтальном направлении вправо. На вторую ступень действовала неуравновешенная составляющая радиальной силы, возникающая под действием груза 14. Действительные величины этих сил измеряли динамометрами 12. Смещение оси инструмента в области режущих кромок первой и второй ступеней замеряли индикаторами 3, также проводили замеры статической податливости шпиндельного узла.

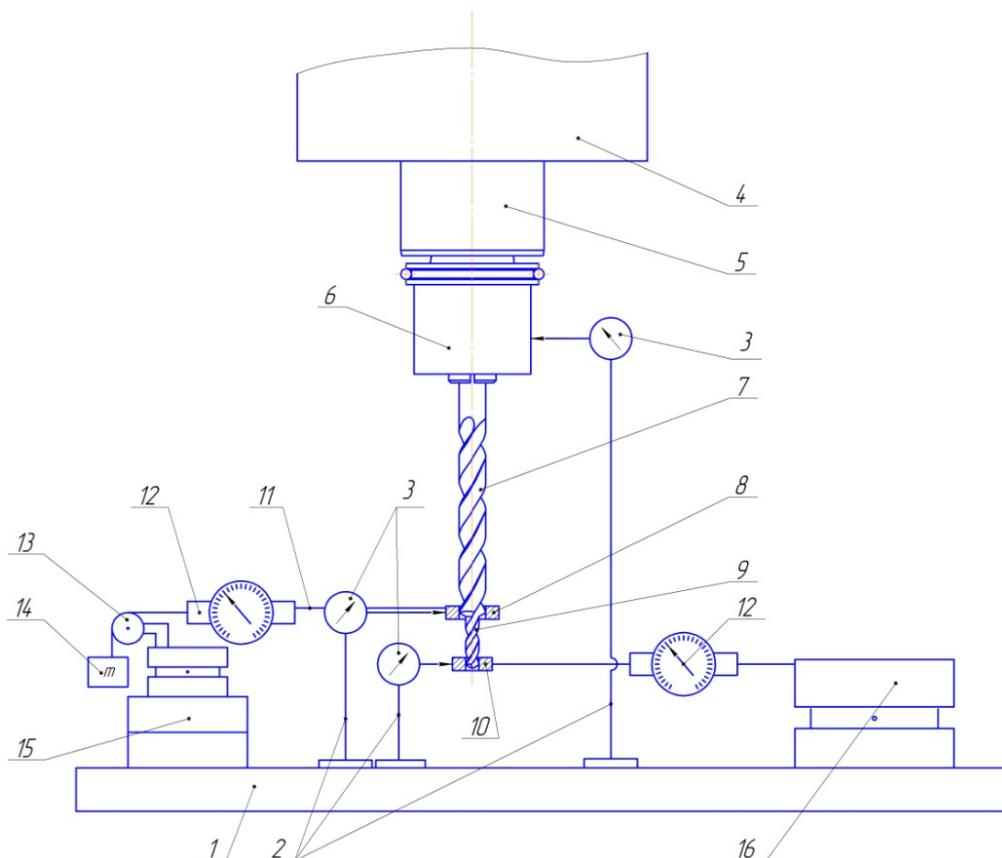


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки для определения смещения оси КОИ под действием статической нагрузки: 1 – стол; 2 – стойки; 3 – индикаторы; 4 – шпиндель; 5 – пиноль; 6 – оправка; 7 – вторая ступень КОИ; 8 – шайба второй ступени; 9 – первая ступень КОИ; 10 – шайба первой ступени; 11 – трос; 12 – динамометр; 13 – ролик; 14 – нагрузка; 15 – база под ролик; 16 – тиски

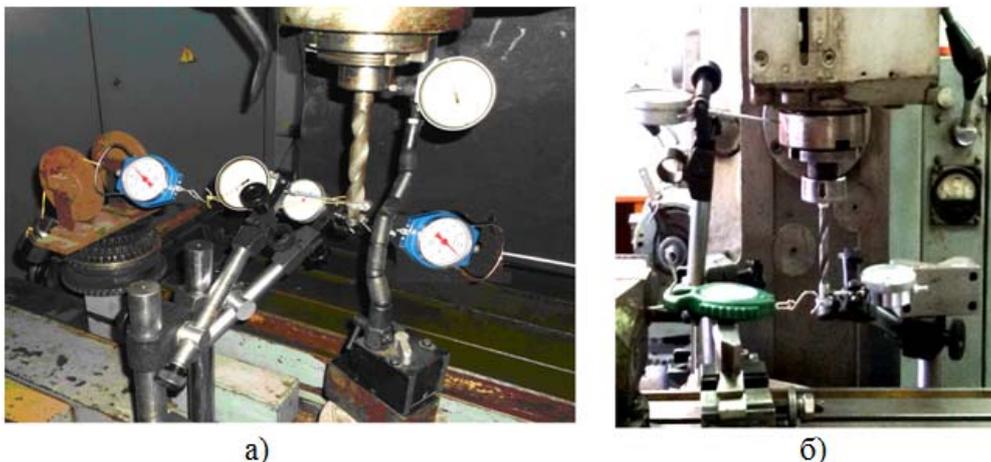


Рис. 2 – Общий вид экспериментальной установки:
а – на базе станка модели 6P13Ф3; б – на базе станка 6Т80Ш

Эксперименты проводили для двухступенчатых сверл из быстрорежущей стали (таблица). Режимы обработки назначали в соответствии с действующими нормативами и рекомендациями [6, 7].

Результаты измерений податливости технологической системы на базе вертикально-фрезерного станка 6P13Ф3 в двух направлениях (вдоль стола и поперек стола) говорят о том, что максимальное перемещение (рис. 3) происхо-

дило вдоль стола и составило 37 мкм. Перемещение поперек стола составило 19 мкм. Причем, для КОИ с диаметрами ступеней 15/20 мм смещение ступеней инструмента было незначительным, а податливость технологической системы определялась в основном податливостью шпинделя.

Таблица

Инструмент, применяемый для эксперимента

Инструмент	Конструктивные параметры					Материал
	Количество ступеней	1 ступень		2 ступень		
		Диаметр	Длина	Диаметр	Длина	
Сверло ступенчатое	2	5	10	9,5	73,5	Р6М5
			30		53,5	
			50		33,5	
		7,9	10	9,5	73,5	
			30		53,5	
			50		33,5	
Сверло ступенчатое	2	15	20	20	100	Р6М5

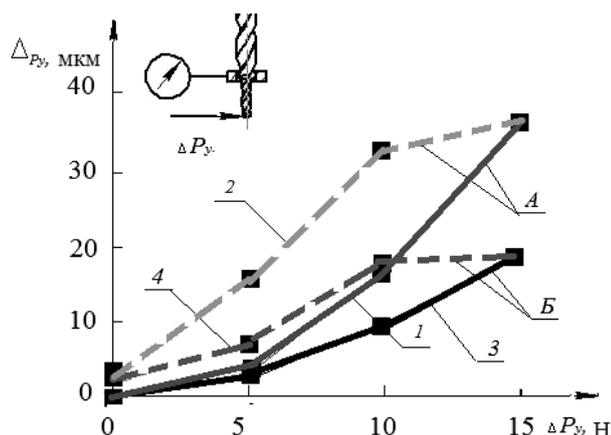


Рис. 3 – Влияние радиальной силы, приложенной к первой ступени двухступенчатого сверла $d_1 = 15$ мм, $d_2 = 20$ мм, $L_1 = 10$ мм, $L_2 = 130$ мм на смещение его оси: *A* – смещение вдоль стола; *B* – смещение поперек стола; 1, 3 – нагружение; 2, 4 – разгружение; станок 6Р13Ф3

Нагрузочные кривые выходят из начала координат, разгрузочные – не возвращаются в исходное положение и при нулевой нагрузке отсекают от оси абсцисс отрезки 4 и 2 мкм (рис. 4). Площадь участка, которая находится между нагрузочной и разгрузочной кривыми отражает работу сил трения и потенциальную энергию остаточных деформаций микронеровностей деталей узлов. Таким образом, зависимость смещения оси инструмента $\Delta = f(\Delta P_y)$ от приложенной нагрузки носит гистерезисный характер независимо от того, к какой ступени приложена сила, ее направления, диаметра и длин ступеней. Обе ветви мало отличаются от прямой и могут быть представлены линейными зависимостями. Это говорит о высокой точности соединения узлов, воспринимающих нагрузку.

Максимальное смещение оси первой ступени в зависимости от силы, дей-

ствующей на нее, и длины первой ступени достигает 265...740 мкм для КОИ с диаметрами 5/9,5 мм и 160...300 мкм для КОИ с диаметрами 7,9/9,5 мм. Смещение оси инструмента в зоне режущих кромок второй ступени при приложении сил ко второй ступени достигает 20...150 мкм для КОИ с диаметрами 5/9,5 мм и 15...145 мкм – для КОИ с диаметрами 7,9/9,5 мм. При этом величина радиального смещения шпинделя станка 6Т80Ш при нагрузках до 20 Н достигает 5 мкм.

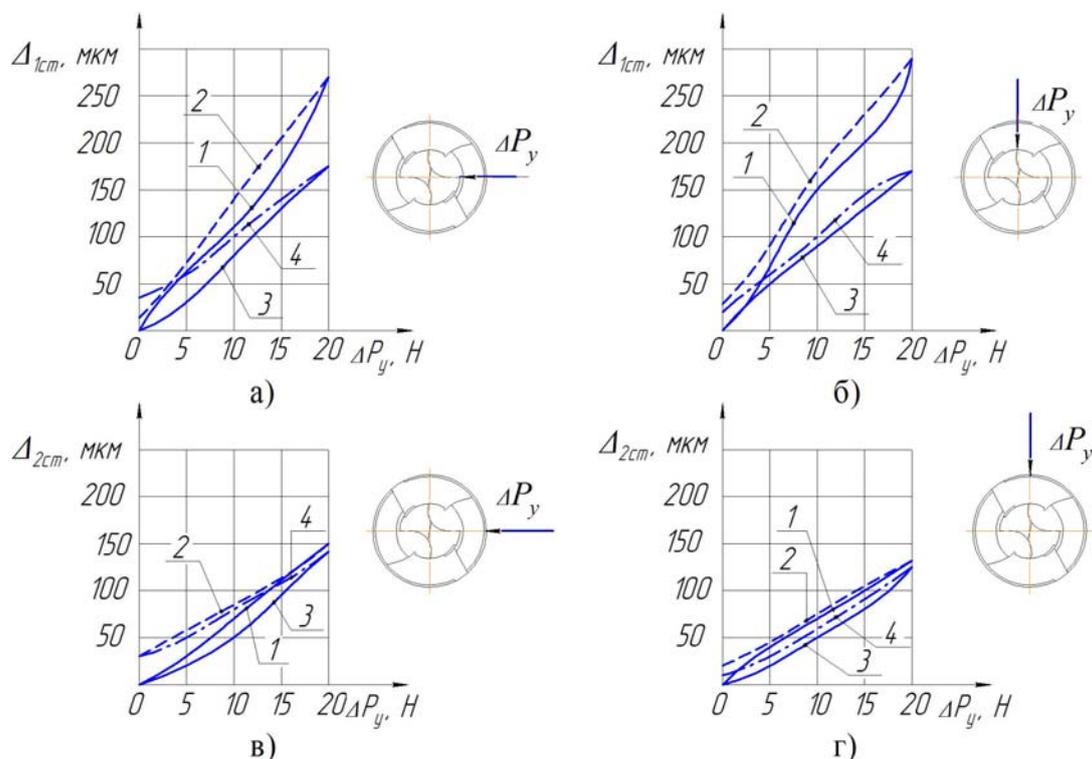


Рис. 4 – Максимальное смещение оси КОИ под действием неуравновешенной радиальной силы на: а, б – первую ступень; в, г – на вторую ступень; 1, 2 – инструмент с диаметрами ступеней 5/9,5 мм, соответственно, при нагружении и разгрузке; 3, 4 – инструмент с диаметрами ступеней 7,9/9,5 мм, соответственно, при нагружении и разгрузке; длины ступеней $L_1 = 10$ мм, $L_2 = 73,5$ мм

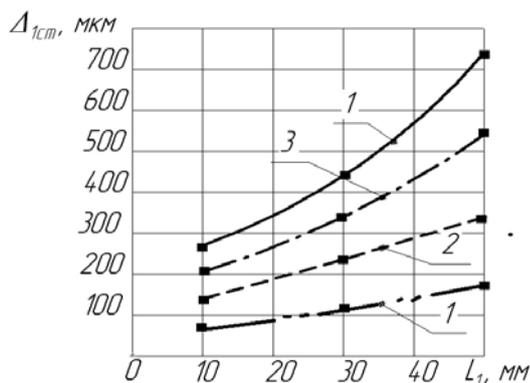


Рис. 5 – Влияние длины первой ступени на величину смещения оси КОИ с диаметром первой ступени $d_1 = 5$ мм, диаметром второй ступени $d_2 = 9,5$ мм:

1, 2, 3, 4 – неуравновешенная радиальная сила, соответственно, 5, 10, 15, 20 Н

Зависимость смещения оси ступеней от направления вектора приложения силы ΔP_y (вдоль или поперек режущих кромок) имеет различный характер, что

можно объяснить величиной жесткости комбинированного инструмента, которая зависит от длины ступеней КОИ и угла наклона стружечной канавки.

Зависимость $\Delta = f(L_1)$ смещения оси КОИ от длины первой ступени при приложении нагрузки на первую ступень независимо от направления действия силы, как и ожидалось, носит пропорциональный характер (рис. 5).

Податливость технологической системы оснащенной КОИ (рис. 6) имеет прямо пропорциональную зависимость от длины первой ступени.

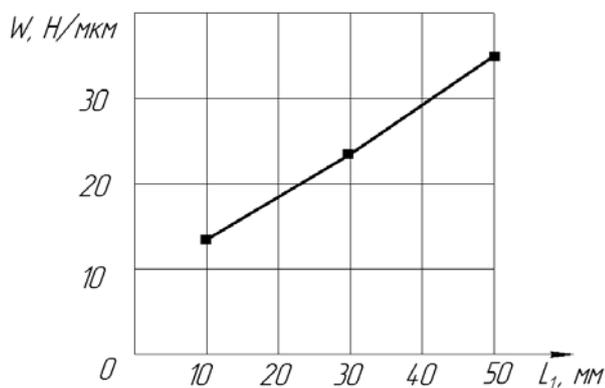


Рис. 6 – Влияние длины первой ступени двухступенчатых сверл на податливость технологической системы

Выводы. Зависимость смещения оси инструмента $\Delta = f(\Delta P_y)$ от приложенной нагрузки носит гистерезисный характер независимо от того, к какой ступени приложена сила, ее направления, диаметра и длин ступеней. Податливость технологической системы оснащенной КОИ зависит от соотношения диаметров и длин самого инструмента и имеет прямо пропорциональный характер в зависимости от длины первой ступени инструмента. Зависимость величины смещения оси ступеней от направления вектора приложения силы ΔP_y (вдоль или поперек режущих кромок) имеет различный характер, что можно объяснить величиной жесткости комбинированного инструмента, которая зависит от длины ступеней КОИ и угла наклона стружечной канавки.

Список литературы: 1. *Сергеев С.В.* Анализ механизмов возникновения погрешности при формообразовании отверстий концевым многолезвийным инструментом / *С.В. Сергеев* // Технология машиностроения. – М.: ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ». – 2010. – № 2. – С. 14–18. 2. *Подураев В.Н.* О влиянии разнообрабатываемости на точность обработки глубоких отверстий / *В.Н. Подураев, А.А. Суворов, А.А. Базров* // Известия вузов. Машиностроение. – 1975. – № 10. – С. 141–144. 3. *Гузев В.И.* Анализ моделей динамических процессов формообразования отверстий / *В.И. Гузев, И.П. Дерябин, Я.М. Хилькевич* // Известия Челябинского научного центра. – 2005. – Вып. 2 (28). – С. 42–47. 4. *Мальшико И. И.* Математическая модель упругих перемещений ступенчатого сверла // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сб. науч. тр. – Донецк: ДонГТУ, 1998. – Вып. 5. – С. 102–106. 5. *Косилова А.Г.* Точность обработки деталей на автоматических линиях [Текст] : производственное издание / *А. Г. Косилова ; ред. И. К. Шаповалов.* – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с. 6. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. В 2-х ч. – М.: Экономика, 1990. – 208 с. 7. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под ред. *Баранчикова В.И.* – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

Степанов М.С., докт. техн. наук, проф., декан

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Ключко А.А., докт. техн. наук, проф., **Анцыферова О.О.**, аспирант

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Палашек С.Ю., аспирант

(Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина)

Одним из основополагающих факторов обеспечения высокой долговечности закаленных зубчатых колес является изучение состояния напряжений в поверхностном слое, которое определяется видом и условиями технологического воздействия в процессе зубошлифования. Рассмотрено влияние остаточных напряжений на прочность зубчатых колес в зависимости от тепла, возникающего в зоне резания и приводящего к образованию растягивающих напряжений, изменению твердости и структуры. Причиной структурных напряжений являются изменения объема по сечению материала, вызванные превращением аустенита меньшего удельного объема в структуре большего удельного объема.

Ключевые слова: *зубошлифование, поверхностный слой, технологическое воздействие, закаленное зубчатое колесо*

Одним з основних факторів забезпечення високої довговічності загартованих зубчастих коліс є вивчення стану напруження в поверхневому шарі, що визначається виглядом і умовами технологічного впливу в процесі зубошліфування. Розглянуто вплив залишкових напружень на міцність зубчастих коліс залежно від тепла, що виникає в зоні різання і призводить до утворення розтягуючих напружень, зміни твердості та структури. Причиною структурних напружень є зміна об'єму по перерізу матеріалу, яка викликана перетворенням аустеніту меншого питомого об'єму в структурі більшого питомого об'єму. Структурні залишкові напруження в поверхневому шарі зубчастих коліс при різних схемах зубошліфування з'являються завжди разом з тепловими напруженнями і викликають виникнення розтягуючих напружень, а в серцевині – напруження стиснення.

Ключові слова: *зубошліфування, поверхневий шар, технологічний вплив, загартоване зубчасте колесо*

One of the fundamental factors ensuring the high durability of hardened gears is the study of the state of stress in the surface layer, which is determined by the type and conditions of the technological impacts during gear grinding. The effect of residual stresses on the strength of gears depending on the heat generated in the cutting zone and leads to the formation of tensile stress, and hardness change of the structure. The cause of the structural stresses are measurable volume-tion over the cross section of the material caused by the conversion of smaller specific volume in the structure of austenite more specific volume.

Keywords: *tooth-grinding, the surface layer, the technological impact, tempered gear*

Состояние напряжений в поверхностном слое определяется видом и условиями технологического воздействия на эвольвентную поверхность зубчатого колеса в процессе зубошлифования. Изменения состояния поверхностного слоя происходят в результате внесения в него энергии, необходимой для удаления материала в процессе зубошлифования.

Увеличение глубины резания сопровождается ростом сил резания, что способствует уменьшению величины растягивающих напряжений в поверхностном слое шлифованной поверхности зубьев зубчатого колеса.

Остаточные напряжения влияют на прочность зубчатых колес и зависят от тепла, возникающего в зоне резания, что приводит к образованию растягивающих напряжений, изменению твердости и структуры. В связи с этим возникает необходимость разработки математического моделирования описания степени влияния сил резания на процесс образования остаточных напряжений. Причиной структурных напряжений является изменение объема по сечению материала, вызванное превращением аустенита меньшего удельного объема в структуре большего удельного объема (мартенсит, бейнит, перлит, феррит) [1, 2, 3, 4]. Структурные остаточные напряжения в поверхностном слое зубчатых колес при различных схемах зубошлифования появляются всегда совместно с тепловыми напряжениями и вызывают возникновение растягивающих напряжений, а в сердцевине - напряжений сжатия. Анализируя распределение микротвердости в поверхностном слое, можно сделать вывод, что на структурные изменения верхнего слоя решающим образом влияет распределение тепла, так как в верхней части верхнего слоя могут появляться температуры, которые являются достаточными для создания мартенситных структур [2, 3, 4]. Влияние температуры и воздействие трения уменьшается с достижением более глубоких зон поверхностного слоя. Воздействие тепла во время зубошлифования может привести к возникновению новой закаленной зоны и находящегося под ней «мягкого» слоя [2, 3]. Этот процесс может сопровождаться преобразованием напряжений в поверхностном слое. Если в процессе технологического воздействия не происходят разовые и структурные изменения в материале, то преобладающее термическое влияние вызовет появление растягивающих напряжений, а механическое воздействие в случае растягивающих деформаций вызовет появление остаточных напряжений сжатия. Во время шлифования изменяются условия резания в зоне соприкосновения шлифовального круга с обрабатываемым зубом зубчатого колеса.

При использовании нерациональных параметров шлифования на шлифуемой поверхности зубчатого колеса появляется белый слой вторичной закалки, отпущенный мартенсит и остаточный аустенит [1, 2, 3]. Поэтому условия обработки имеют важное значение в процессе шлифования, а их несоответствующий подбор может привести к росту сил резания, увеличенному износу шлифовального круга, засаливаемости круга, росту температуры шлифования и увеличению остаточных напряжений в поверхностном слое обработанной поверхности, к появлению трещин и росту количества остаточного аустенита. Трещины возникают в результате отпуска мартенситной структуры, что прямо связано с образованием остаточных напряжений [2, 3, 4]. При построении теоретической модели необходимо учитывать одновременное влияние трения, температуры в зоне контакта и сил резания, что позволит установить влияние глубины резания на засаливаемость шлифовального круга. Корундовый шлифовальный круг ведет к образованию в зоне резания в два раза большей температуры, чем при применении боразонового шлифовального круга.

Очень важным моментом при зубошлифовании является обеспечение уменьшения температуры в зоне контактирования абразивного круга и обрабатываемой эвольвентной поверхности зубчатого колеса, сил резания с одновременным увеличением объема снимаемого металла и уменьшением степени засаливаемости круга. Силы резания и температура зависят от характеристики шлифовального круга и способа шлифования, тем более, что шлифование эвольвентных поверхностей зубьев зубчатых колес отличается некоторой спецификой протекания тепла [1, 4] с неравномерными силами шлифования [2, 4]. Поэтому процесс зубошлифования трудно поддается моделированию по сравнению с другими способами шлифования [3, 4].

Огромную роль в процессе зубошлифования играет также смазочно-охлаждающая жидкость [2, 4]. Расход СОЖ влияет на величину температуры. С увеличением расхода СОЖ температура во время шлифования понижается. Структурные напряжения вызываются изменением объема (мартенситно-аустенитных превращений [2]) при переходе через интервал критических температур (например, в аустенит, перлит, мартенсит, бейнит). Поэтому усиление диффузии наблюдается только в некотором интервале средних температур [3], а в высоких температурах преобладают эффекты, вызванные тепловыми колебаниями [3, 4]. Во время шлифования обнаружено возникновение очень высоких растягивающих начальных напряжений в поверхностном слое зубчатых колес [3, 4], достигающих 1000 [МПа].

Тепло в поверхностном слое, на глубине свыше 10 мкм, ведет к значительному приращению остаточных растягивающих напряжений, и только на больших глубинах (рис. 6) - к напряжениям сжатия [3, 5, 6].

Таким образом, связь тепла с остаточными напряжениями является очевидной. Однако характер этой связи требует проведения дальнейших исследований, связанных с изменением свойств поверхностного слоя, особенно при шлифовании зубьев зубчатых колес. Воздействие тепла при зубошлифовании приводит к возникновению новой закаленной зоны и находящегося под ней «мягкого» слоя. Этот процесс сопровождается преобразованием напряжений в поверхностном слое. В общем случае остаточные напряжения оказывают влияние на механические, физические и химические свойства обрабатываемого материала зубчатых колес. Во время зубошлифования изменяются условия резания в зоне соприкосновения круга с обрабатываемым зубом зубчатого колеса. При использовании нерациональных параметров зубошлифования на шлифуемой поверхности зубчатого колеса появляется белый слой вторичной закалки, отпущенный мартенсит и остаточный аустенит. Трещины возникают в результате отпуска мартенситной структуры, что прямо связано с образованием остаточных напряжений.

Список литературы: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. *Ф.В. Новикова* и *А.В. Якимова*. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения". – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 2. *Якимов А.В.* Технологические основы обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колес / *А.В. Якимов*. – Одесса: Астропринт. 2003. - 453 с. 3. *Шелковой А. Н.* Общие принципы моделирования оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес / *А. Н. Шелковой, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко* // Вісник СевНТУ : зб. наук. праць. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – Севастополь, 2013. – Вип. 140. – С. 203–210.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Ключко А.А., докт. техн. наук, проф.,

Гасанов М.И., канд. техн. наук, проф., проректор,

Басова Е.В., канд. техн. наук

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Лишенко А.Н., аспирант

(Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина)

Одной из основной причин потери режущей способности зубошлифовальных кругов (ЗШК) являются контаминация и увеличение радиуса округления режущей кромки абразивных зерен. Контаминация сопровождается процессом переноса на рабочую поверхность ЗШК частиц шлама в процессе обработки. С целью уменьшения процесса контаминации и одновременным повышением режущей способности на рабочей поверхности ЗШК предложено выполнять режущие кромки с положительным углом наклона λ . Наличие режущей кромки при зубошлифовании приводит к уменьшению площадок износа на абразивных зернах и приводит к снижению налипания на площадках частиц металла заготовки, вследствие чего уменьшается теплосиловая напряженность процесса и интенсивность вибраций, снижается глубина дефектного слоя поверхности деталей. Наличие режущих кромок увеличивает период правки и повышение стойкости ЗШК, что позволяет идентифицировать процесс зубошлифования в процесс скоростного абразивного зубофрезерования.

Ключевые слова: зубошлифование, абразивные зерна, контаминация, режущая способность, поверхностный слой, режущая кромка, зубчатое колесо.

Однією з основних причин втрати ріжучої здатності зубошліфувальних кругів (ЗШК) є контамінація і збільшення радіусу округлення різальної крайки абразивних зерен. Контамінація супроводжується процесом перенесення на робочу поверхню ЗШК частинок шламу в процесі обробки. З метою зменшення процесу контамінації та одночасним підвищенням ріжучої здатності на робочій поверхні ЗШК запропоновано виконувати ріжучі кромки з позитивним кутом нахилу λ . Наявність ріжучої кромки при зубошліфуванні призводить до зменшення майданчиків зносу на абразивних зернах і призводить до зниження налипания на майданчиках частинок металу заготовки, внаслідок чого зменшується теплосилового напруженість процесу і інтенсивність вібрацій, знижується глибина дефектного шару поверхні деталей. Наявність різальних крайок збільшує період правки і підвищення стійкості ЗШК, що дозволяє ідентифікувати процес зубошліфування в процес швидкісного абразивного зубофрезерування.

Ключові слова: зубошліфування, абразивні зерна, контамінація, ріжуча здатність, поверхневий шар, ріжуча кромка, зубчасте колесо.

One iz main cause of the loss of abilities Cutting zuboshlyfovalnyh circular (ZSHK) javljajutsja contamination and an increase rounding radius Cutting edge abrazyvnyh grains. Contamination accompanied the process carries on a working surface ZSHK sludge particles in the process of processing. With a view Reduction process contamination and odnovremennym Increase Cutting abilities on a working surface ZSHK proposals Outgoing rezhuschye edge with polozhytelnyh uhlom naklona λ . Cutting Edge availability at zuboshlyfovanyu lead for Reduction in areas yznosa abrazyvnyh beans and bring Reduction for nalypanyya metal particles on sites blanks, Due cheho

decreases teplosylovaya napryazhennost process and yntensyvnost vybratsyy, snyzhaetsya Depth defective surface layer parts. Cutting edge uvelychyvaet availability period and revision Increase stoykosty ZSHK, something ydentyfytsyrovat process allows us to process zuboshlyfovanyya skorostnoho abrasive zubofrezerovanyya.

Keywords: *zuboshlyfovanye, abrazyvnyye grain contamination, rezhuschaya Ability, poverhnostnyy layer of, rezhuschaya edge, wheel zubchatoe*

Причиной потери режущей способности зубошлифовальных кругов (ЗШК), в т.ч. являются контаминация и увеличение радиуса округления режущей кромки абразивных зерен. В зависимости от преобладания того или иного вида изнашивания различают режим самозатачивания и преимущественного затупления ЗШК. При этом режущая способность ЗШК и теплосиловая напряженность процесса зубошлифования со временем практически не изменяются [1, 4, 6, 7, 8, 9], однако изнашивание ЗШК приводит к увеличению погрешности геометрической формы и усилению вибрации технологической системы, и образованию на обрабатываемых эвольвентных поверхностях зубчатых колес волнистости. В результате зубошлифования ЗШК подвергаются контаминации, изнашиванию, увеличению радиуса округления режущей кромки абразивных зерен (РКАЗ) под действием периодических и перманентных силовых, тепловых и физико-химических воздействий.

Под изнашиванием понимают постепенное отделение частиц рабочего слоя ЗШК, приводящее к уменьшению его размеров и массы. Изменение геометрических параметров ЗШК рабочей поверхности вследствие увеличения радиуса округления РКАЗ приводит к затуплению и к снижению режущей способности инструмента.

Изнашивание ЗШК происходит, в основном, за счет: механического истирания вершин режущих кромок зерен и появления на них площадок износа [1, 2, 3, 5]; выкрашивания (скалывания) частиц абразивных зерен (АЗ) под действием силовых нагрузок или (и) циклического чередования их быстрого нагрева и охлаждения, создающего термоудары [1, 5, 6]; адгезионного изнашивания зерен, связанного с периодическим отрывом налипшего на них металла заготовки вместе с частицами абразива и образованием на зернах мелких кратеров [3, 5]; диффузионного изнашивания, заключающегося в растворении АЗ в материале обрабатываемой заготовки или (и) образования их химических соединений [1, 5]; окисления зерен кислородом воздуха при высокой температуре [1,4]; вырывания из связки целых зерен [3, 5].

Контаминация сопровождается процессом переноса на рабочую поверхность ЗШК частиц шлама в процессе обработки (ГОСТ 21445-84 Материалы и инструменты абразивные. Термины и определения). Частицы шлама проникают и удерживаются в пространстве между АЗ и в порах круга, а на АЗ налипает материал обрабатываемой заготовки. Шлам – представляет отходы шлифования, состоящие из частиц абразива, связки и шлифовальной стружки.

С целью уменьшения процесса контаминации и одновременным повышением режущей способности на ЗШК выполняются режущие кромки с положительным углом наклона λ . Наклонная режущая кромка создает непрерывность процесса контактирования ЗШК с эвольвентной поверхностью зубчатого коле-

са и уменьшению площадок износа на режущих кромках АЗ и снижению налипания на эти площадки частиц металла заготовки, вследствие чего уменьшается теплосиловая напряженность процесса и интенсивность вибраций, снижается глубина дефектного слоя поверхности деталей. Наличие режущих кромок увеличивает период правки и повышает стойкости ЗШК, что позволяет идентифицировать процесс зубошлифования в процесс скоростного абразивного зубофрезерования (САЗФ).

При САЗФ интенсивность механического истирания зерен и контаминация в значительной мере уменьшается даже при увеличении пластичности материала обрабатываемой заготовки. Наличие режущих комок на ЗШК позволяет стабилизировать задачу оптимизации условий и режимов механической обработки. В то же время процессы контаминации при САЗФ всесторонне не исследованы. Если при зубошлифовании без режущих кромок на поверхности ЗШК еще не затупленные абразивные зерна в результате контаминации теряют режущую способность, то при САЗФ период стойкости ЗШК увеличивается в 1,75-2,0 раза.

При соотношении глубина внедрения (a) и радиуса при вершине зерна (ρ), характеризующей границу перехода от пластического деформирования к микрорезанию равной или близкой нулю, процесс съема металла практически будет отсутствовать. Наличие режущих кромок на рабочей поверхности ЗШК позволяет стабилизировать и свести к минимуму процесс интенсивности контаминации, позволяет улучшить отвод стружки.

Список литературы: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. *Ф.В. Новикова* и *А.В. Якимова*. В десяти томах. – Т. 2. "Теплофизика резания материалов". – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. *Ф.В. Новикова* и *А.В. Якимова*. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 3. *Новиков Ф.В.* Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / *Ф.В. Новиков, С.М. Яценко* // Физические и компьютерные технологии: междунар. научн.-техн. конф., 19-20 апреля 2007 г.: труды – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2007. – С. 8-20. 4. *Резников А.Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов / *А.Н. Резников*. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 5. *Якимов А.В.* Технологические основы обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колес / *А.В. Якимов*. – Одесса: Астропринт. 2003. – 453 с. 6. *Шелковой А.Н.* Технологические условия формирования параметров поверхностного слоя зубчатых колес и их влияние на эксплуатационные свойства / *А. Н. Шелковой, А. А. Клочко, О.А. Анцыферова, С.Ю. Палашек* // Физические и компьютерные технологии. Труды 21-й Международной научно-практической конференции. 24–25 декабря 2015, г. Харьков. – Д.: Лира, 2015. – С. 107–120. 7. *Степанов М. С.* Исследование структурных превращений и их влияние на поверхностный слой при зубошлифовании / *М. С. Степанов, А. А. Клочко, О.А. Анцыферова* // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – №40 (1149). С. 113-116. 8. *Евсеев Д.Г.* Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / *Д.Г. Евсеев*. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. –127 с. 9. *Шелковой А. Н.* Общие принципы моделирования оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес / *А. Н. Шелковой, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко* // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – Севастополь, 2013. – Вип. 140. – С. 203–210.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИВОДОВ ШАХТНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Нежебовский В.В., канд. техн. наук
(ПАО «Свет шахтера», Харьков, Украина)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Определены оптимальные условия обработки при зубошлифовании зубчатых колес приводов шахтных конвейеров с учетом ограничений по температуре резания, точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Установлено, что повысить качество обработки можно за счет уменьшения условного напряжения резания путем снижения интенсивности трения в зоне резания и повышения режущей способности круга. Показано, что наименьшее штучное время обработки для заданной температуры шлифования достигается при условии равенства основного и вспомогательного времени. Обоснованы возможности уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании кругом с двухсторонним коническим профилем.

Ключевые слова: зубошлифование, температура резания, качество обработки, точность обработки, шероховатость обрабатываемых поверхностей, условное напряжение резания, круг с двухсторонним коническим профилем.

Визначено оптимальні умови обробки при зубошліфуванні зубчастих коліс приводів шахтних конвеєрів з урахуванням обмежень за температурою різання, точністю та шорсткістю оброблюваних поверхонь. Встановлено, що підвищити якість обробки можна за рахунок зменшення умовного напруження різання шляхом зниження інтенсивності тертя в зоні різання і підвищення різальної здатності круга. Показано, що найменший штучний час обробки для заданої температури шліфування досягається за умови рівності основного і допоміжного часу. Обґрунтовано можливості зменшення шорсткості поверхні при шліфуванні кругом з двостороннім конічним профілем.

Ключові слова: зубошліфування, температура різання, якість обробки, точність обробки, шорсткість оброблюваних поверхонь, умовне напруження різання, круг з двостороннім конічним профілем

The optimum processing conditions during gear grinding gear drive shaft conveyors with the restrictions on the cutting temperature, accuracy and surface roughness. It is found that to increase the processing quality can be conditioned by reducing the cutting voltage by reducing the intensity of friction in the cutting zone of the cutting wheel and increase capacity. It is shown that the smallest single-piece processing time for a given temperature grinding is achieved under the condition of equality of the main and auxiliary time. Possibilities of reducing the surface roughness in grinding disc with double-sided conical profile.

Keywords: tooth-grinding, cutting temperature, the quality of treatment, precision machining, surface roughness, conventional stress cutting circle with two-sided conical profile.

Постановка проблемы. При изготовлении приводов шахтных конвейеров постоянно возникают сложные задачи технологического обеспечения качества обработки зубчатых колес на финишных операциях. В значительной степени это обусловлено проблемами образования на операциях зубошлифования

температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях, а также относительно низкими показателями точности и шероховатости обработки. В результате происходят частые поломки зубьев колес, снижается их износостойкость и долговечность, а это требует постоянного ремонта приводов в тяжелых шахтных условиях. Известно, что повысить качество обработки зубчатых колес и, соответственно, их надежность и ресурс работы можно путем применения эффективных технологий зубошлифования, обеспечивающих снижение тепловой и силовой напряженности процесса и повышение производительности обработки. В настоящее время накоплен богатый опыт совершенствования технологии зубошлифования, получено большое количество результатов экспериментальных исследований и в целом сложилось достаточно полное представление о технологических возможностях и имеющихся резервах зубошлифования [1–3]. Вместе с тем, для их максимального использования необходимы новые более глубокие теоретические знания о критериях определения оптимальных режимов шлифования с учетом ограничений по температуре шлифования, точности и шероховатости обработки, поскольку имеющихся экспериментальных данных все же недостаточно для принятия решения о выборе оптимального варианта обработки. Все это требует проведения исследований по установлению технологических закономерностей формирования качества обработки зубчатых колес приводов шахтных конвейеров и условий их повышения на операциях зубошлифования. Целью работы является повышение качества обработки зубчатых колес приводов шахтных конвейеров на финишных операциях на основе научно обоснованного выбора оптимальных режимов зубошлифования и характеристик абразивных кругов.

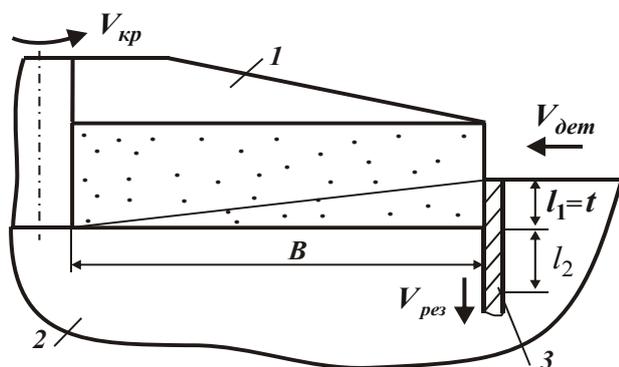


Рис. 1 – Расчетная схема торцевого шлифования: 1 – круг; 2 – обрабатываемый материал; 3 – адиабатический стержень.

Для обоснования условий повышения качества и производительности обработки при зубошлифования по температурному фактору установлена аналитическая связь между температурой шлифования θ и глубиной l_2 проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали при торцевом шлифования (рис. 1) [4]:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{l_1}{l_2}, \quad (1)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot V_{рез} \cdot l_1} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{уд}}, \quad (2)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоемкость обработки, Дж/м³); τ – время обработки, с; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; l_1 – толщина слоя снятого материала, равная при торцевом шлифова-

нии глубине шлифования t , м; $V_{рез} = t \cdot V_{дет} / B$ – скорость перерезания адиабатического стержня, которыми условно представлен снимаемый припуск, м/с; $V_{дет}$ – скорость перемещения детали, м/с; B – длина рабочей части круга (длина контакта круга с деталью), м; $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$ – удельная производительность обработки, м²/с.

Как вытекает из зависимости (1), уменьшение θ предполагает увеличение глубины l_2 . Следовательно, единственно возможным путем одновременного уменьшения параметров θ и l_2 и, таким образом, повышения качества обработки является уменьшение условного напряжения резания σ в результате снижения интенсивности трения в зоне шлифования и повышения режущей способности круга. Расчетами установлено, что при шлифовании стали ШХ15 ($c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$ Дж/м³·град) отношение l_1/l_2 принимает значения, меньшие единицы (рис. 2,а). Установлено также, что обеспечение значений θ , меньших температуры плавления стали ШХ15 ($\theta_{пл} = 1500$ °С), возможно при $l_1/l_2 \ll 1$ (рис. 2,б). Это связано с относительно большими значениями $\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{ш}^2}\right) / K_{ш}$, где $K_{ш} = P_z / P_y = 0,1 \dots 1$; P_z , P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м² (для стали ШХ15 $\sigma_{сж} = 2 \cdot 10^9$ Н/м²). Поэтому весьма сложно одновременно уменьшить температуру шлифования θ до требуемого уровня и выполнить условие $l_1/l_2 \rightarrow 1$ и таким образом добиться повышения качества обработки. Реально можно выполнить лишь одно условие: уменьшить θ за счет увеличения l_2 . В этом случае исключается образование на обрабатываемых поверхностях прижогов. Однако, в связи с увеличением l_2 возможны структурные изменения поверхностного слоя обрабатываемой детали, которые не всегда можно устранить на последующем проходе круга, т.к. $l_1/l_2 \ll 1$. Поэтому, наряду с обеспечением заданного значения θ , необходимо стремиться к уменьшению параметра l_2 за счет уменьшения условного напряжения резания σ .

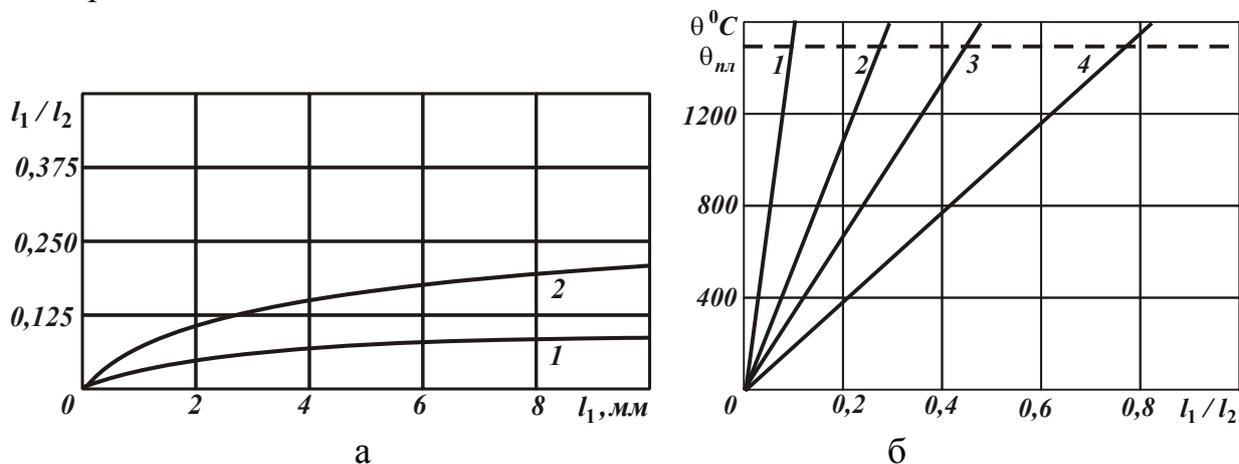


Рис. 2 – Зависимости l_1/l_2 от l_1 (1 – $V_{рез} = 2$ мм/мин; 2 – $V_{рез} = 10$ мм/мин) (а) и θ от l_1/l_2 (1 – $K_{ш} = 0,1$; 2 – $K_{ш} = 0,3$; 3 – $K_{ш} = 0,5$; 4 – $K_{ш} = 1$) (б).

При шлифовании на обрабатываемых поверхностях, кроме прижогов, образуются микротрещины из-за высокого градиента температуры:

$$\text{grad}\theta = \frac{\theta}{l_2} = \sigma \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot V_{\text{дет}} . \quad (3)$$

Уменьшить $\text{grad}\theta$ и исключить образование микротрещин, исходя из зависимости (3), можно уменьшением температуры шлифования θ и увеличением глубины l_2 , что соответствует установленному выше условию исключения прижогов и достигается уменьшением параметров σ , t , $V_{\text{дет}}$ и увеличением B . Следовательно, добиться одновременного уменьшения $\text{grad}\theta$, температуры шлифования θ и глубины l_2 и таким образом исключить образование микротрещин и прижогов на обрабатываемой поверхности (при заданной производительности обработки) можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания σ . В связи с этим произведена оптимизация параметров режимов зубошлифования с учетом температурного фактора. Как следует из зависимостей (1) и (2), уменьшить θ при одной и той же производительности обработки можно уменьшением глубины шлифования t , т.е. увеличивая количество проходов круга при съеме заданного припуска Π . Однако, это ведет к увеличению вспомогательного времени, связанного с реверсированием стола станка. Поэтому существует оптимальное количество проходов круга n , при котором штучное время $T_{\text{шт}}$ (равное сумме основного $T_{\text{осн}}$ и вспомогательного $T_{\text{всп}}$ времени обработки на операции зубошлифования) принимает минимальное значение:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot (\tau_{\text{осн}} + \tau_{\text{всп}}) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{\text{всп}} \cdot \gamma, \quad (4)$$

где $T_{\text{осн}} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{\text{осн}}$; $T_{\text{всп}} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{\text{всп}}$; z – количество зубьев; k – количество двойных возвратно-поступательных движений круга вдоль обрабатываемого зуба за один проход; $\tau_{\text{осн}} = L/V_{\text{дет}}$ – основное время обработки за один двойной ход круга, с; L – длина продольного хода круга, м; $\tau_{\text{всп}}$ – вспомога-

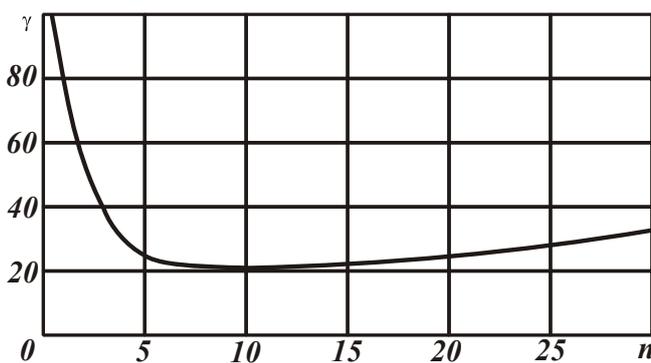


Рис. 3 – Зависимость γ от n
для $n_{\text{экстр}} = 10$.

тельное время обработки за один двойной ход круга, с;

$\gamma = \left(\frac{n_{\text{экстр}}^2}{n} + n \right)$ – безразмерная величина.

Подчиняя зависимость (4) необходимому условию экстремума $T'_{\text{шт}n} = 0$, определены экстремальные значения $n_{\text{экстр}}$, $V_{\text{дет}}$ и минимальное значение $T_{\text{шт}}$:

$$n_{\text{экстр}} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{\text{всп}}}}; \quad (5)$$

$$V_{dem} = \frac{L}{\tau_{всн}}; \quad (6)$$

$$T_{ummin} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{экстр} \cdot (\tau_{всн} + \tau_{осн}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{всн}}. \quad (7)$$

Первое и второе слагаемые зависимости (7) равны между собой, т.е. равны основное $\tau_{осн}$ и вспомогательное $\tau_{всн}$ время обработки. Уменьшить T_{ummin} можно прежде всего уменьшением параметров σ и Π при заданном значении θ . При этом экстремальное значение V_{dem} тем больше, чем меньше вспомогательное время $\tau_{всн}$. Для исходных данных: $\rho=14,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $c=40$ кал/(кг·град); $\lambda=14$ кал/(м·град); $\sigma=10^5$ Н/мм²; $\theta=1000$ °C; $\Pi=0,4$ мм; $L=100$ мм; $B=30$ мм; $\tau_{всн}=1$ с, учитывая $t = \Pi / n$, получено: $n_{экстр}=9$; $V_{dem}=6$ м/мин; $t=0,045$ мм. Из рис. 3 следует, что безразмерная величина γ несущественно изменяется в диапазоне $n=5 \dots 20$. Это свидетельствует об эффективности съема припуска за небольшое количество проходов круга (в пределах 5 проходов).

Определены также условия одновременного обеспечения требований по точности и качеству обработки при шлифовании, обусловленные заданными значениями величины упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, и температуры шлифования θ :

$$y = \frac{P_y}{C} = \frac{\sigma}{C \cdot K_{ш}} \cdot \frac{h \cdot t \cdot V_{dem}}{V_{кр}}; \quad (8)$$

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{dem}}{B}}, \quad (9)$$

где C – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; h – ширина шлифования, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Исходя из зависимостей (8) и (9), это достигается уменьшением параметров σ , t , V_{dem} и соответственно производительности обработки. Причем, для обеспечения заданной величины y требуется более существенное уменьшение производительности обработки. Это предполагает применения как предварительного, так и окончательного шлифования. При предварительном шлифовании целесообразно обеспечить заданную температуру θ за счет выбора оптимальной глубины шлифования t , удовлетворяющей зависимости (9). При окончательном шлифовании необходимо обеспечить заданную величину y , устанавливая глубину шлифования t в соответствии с зависимостью $y = t / \varepsilon$, и количество проходов n при выхаживании в соответствии с зависимостью $y = t / \varepsilon^n$, где $\varepsilon = (1 + \alpha)$ – уточнение; $\alpha = \frac{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{dem}}$ – безразмерный параметр.

Расчетами установлено, что с увеличением величин n и α (уменьшением V_{dem}) в одинаковое количество раз (что соответствует одинаковому уменьшению производительности обработки) безразмерная величина y/t уменьшается с разной интенсивностью (рис. 4,а). Более интенсивно – с увеличением n . Это

свидетельствует об эффективности применения схемы выхаживания по сравнению с шлифованием по жесткой схеме. Установлено также, что при начальном значении $\alpha = \alpha_0 \geq 1$ величина y/t с увеличением n уменьшается более чем по линейной зависимости (рис. 4,б). Это превосходит интенсивность уменьшения величины y/t в зависимости от n при условии уменьшения глубины шлифования t . Поэтому при $\alpha < 1$ (или $\varepsilon < 2$) целесообразно использовать шлифование по жесткой схеме, а при $\alpha \geq 1$ (или $\varepsilon \geq 2$) – шлифование по схеме выхаживания, исключая таким образом из технологического процесса операцию окончательного шлифования. Из этого вытекает, что коэффициент α , а, следовательно, и уточнение $\varepsilon = (1 + \alpha)$ определяют оптимальный маршрут обработки. Однако для этого необходимо располагать еще и количественными значениями уточнения ε , которые устанавливаются расчетно-экспериментальным путем.

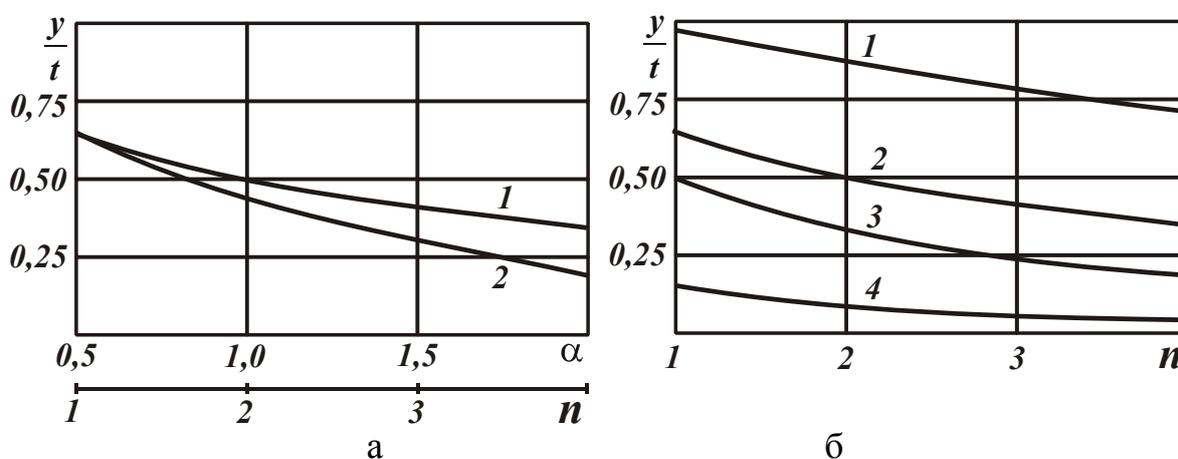


Рис. 4 – Зависимость y/t от величин α (1) и n (2) для $\alpha_0 = 0,5$ (а) и зависимость y/t от n при выхаживании (б): 1 – $\alpha_0 = 0,1$; 2 – $\alpha_0 = 0,5$; 3 – $\alpha_0 = 1$; 4 – $\alpha_0 = 5$.

Используя расчетную схему (рис. 5) [5], обоснованы закономерности съема припуска и формирования шероховатости поверхности с учетом вероятностного характера участия зерен в резании, для чего аналитически определена функция $\Phi(y)$ распределения неудаленного материала на обработанной поверхности при обработке одновысотными (1) и разновысотными (3) зернами с учетом вероятности их участия в резании (рис. 6), а также при обработке одновысотными зернами (2), но без учета вероятностного характера участия их в резании. В первом случае $\Phi(y) = e^{-\frac{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot n}{B} \cdot y}$, а параметры шероховатости определяются: $R_a = \frac{0,367 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n}$; $\frac{R_a}{a} = 0,734$; $\frac{R_p}{R_a} = \frac{R_{\max} - a}{R_a} = \frac{R_{\max}}{R_a} - \frac{a}{R_a}$, где 2γ – угол при вершине конусообразного режущего зерна; n – количество зерен; B – ширина обработки, м; y – текущая координата профиля, м; b – максимальная высота выступания зерен над уровнем связки инструмента, м; a – расстояние до средней линии профиля, м.

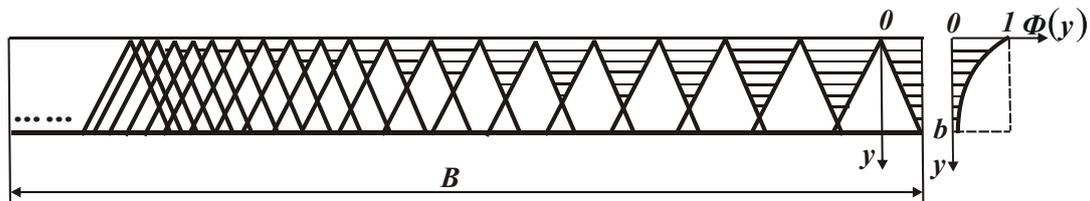


Рис. 5 – Расчетная схема параметров шероховатости поверхности.

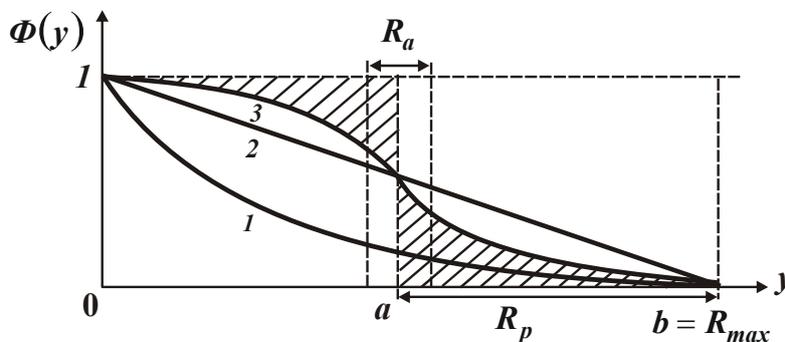


Рис. 6 – Характер изменения функции $\Phi(y)$.

В третьем случае функция $\Phi(y)$ также описывается экспоненциальной зависимостью, а во втором случае – простой линейной зависимостью. По структуре построения функция $\Phi(y)$ соответствует классической относительной опорной длине микропрофиля обработанной поверхности.

В первом и третьем случаях параметр шероховатости R_{max} однозначно определить нельзя, т.к. вероятностная функция $\Phi(y)$ асимптотически приближается к нулевому значению (рис. 6). Поэтому установить параметр шероховатости R_{max} можно из условия прочности образующейся микронеровности поверхности. На этой основе определена длина площадки на вершине микронеровности $l = \frac{0,5 \cdot P \cdot \text{ctg} \gamma}{\tau_{\text{сдв}}}$, где P – сила резания, приходящаяся на единицу ширины микронеровности, Н/м; $\tau_{\text{сдв}}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг, Н/м²; 2γ – угол при вершине микронеровности. Из приведенной зависимости вытекает, что чем больше отношение $P/\tau_{\text{сдв}}$, тем меньше параметр R_{max} и отношение R_{max}/R_a . Этим объясняется различие шероховатости поверхности при абразивной обработке разных по физико-механическим свойствам материалов. Следовательно, существуют два подхода к определению параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке. Первый подход состоит в кинематико-геометрическом описании профиля поверхности с учетом вероятностного наложения и перекрытия проекций зерен, второй подход – в описании профиля микронеровностей от их разрушения под действием сил, возникающих в процессе резания. Первый подход позволяет установить отношение a/R_a , а второй – отношение R_{max}/R_a . В итоге формируется достаточно полное представление о структуре шероховатого слоя обработанной поверхности.

Таблица 1

Расчетные значения параметров R_a/a , R_{max}/R_a , R_p/R_a и R_p/a

Наименование параметров	Случай 1	Случай 2	Случай 3
R_a/a	0,734	0,5	< 0,5
R_{max}/R_a	> 4	4	4...8
R_p/R_a	> 3	2	< 2...6
R_p/a	> 2,2	1	< 1..3

В табл. 1 в обобщенном виде приведены расчетные значения параметров шероховатости поверхности для трех рассмотренных выше случаев (рис. 6). Как видно, случай 2 занимает промежуточное положение, т.к. с переходом от случая 1 к случаю 3 отношение R_a/a уменьшается, а отношение R_{max}/R_a проходит точку минимума, равную 4. Случай 2 является своего рода границей, разделяющей случаи 1 и 3. Сравнивая экспериментальные или расчетные значения отношений R_a/a , R_{max}/R_a , R_p/R_a и R_p/a с соответствующими значениями для случая 2, можно оценить структуру шероховатого слоя поверхности, образующегося для конкретного метода обработки.

Для определения технологических возможностей уменьшения шероховатости поверхности при абразивной обработке первоначально выполнен расчет параметров шероховатости поверхности при шлифовании плосковершинными зернами. Установлено, что при обработке одновысотными и разновысотными зернами параметр R_a определяется зависимо-

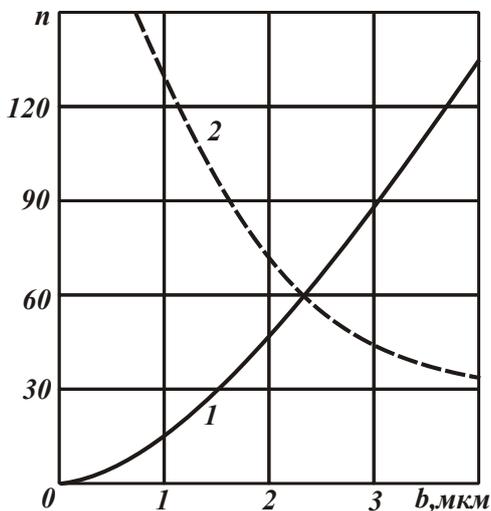


Рис. 7 – Зависимость достигаемого (1) и необходимого (2) количества зерен n от b .

стиями $R_a = \frac{0,367 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n} \cdot e^{-\frac{x \cdot n}{B}}$; $R_a = \frac{0,734 \cdot B \cdot b}{n \cdot x}$, где x – длина площадки на зерне, м.

При шлифовании периферией круга количество зерен n , участвующих в формировании шероховатости поверхности (достигаемое количество), равно

$$n = B \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot b} \cdot \frac{V_{кр}}{V_{дет}} \cdot \frac{3 \cdot m \cdot b}{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}, \quad (10)$$

где $R_{кр}$ – радиус круга, м; m – объемная концентрация зерен круга; \bar{X} – зернистость круга, м.

Установлено, что количество зерен, необ-

ходимое для формирования полного профиля обрабатываемой поверхности $\Phi(y = b = R_{max}) = 0,1$, равно

$$n = \frac{6,9 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot b}. \quad (11)$$

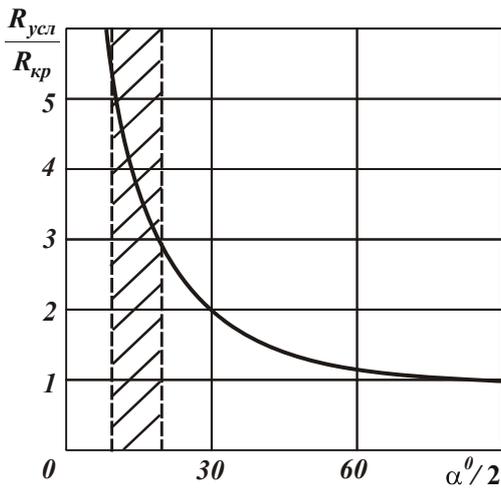


Рис. 8 – Зависимость отношения $R_{усл} / R_{кр}$ от угла $\alpha/2$

Из сопоставления достигаемого (10) и необходимого (11) количества зерен n (рис. 7) определяется параметр шероховатости $b = R_{max}$, который потенциально может быть реализован при шлифовании, например, для исходных данных: $B=20$ мкм; $V_{кр}=30$ м/с; $V_{дет}=1$ м/мин; $R_{кр}=100$ мм; $m=100$; $\bar{X}=100$ мкм. В этом состоит новизна предложенного расчета параметров шероховатости поверхности при шлифовании. На его основе обоснованы закономерности съема припуска и формирования шероховатости поверхности при шлифовании кругом с двухсторонним коническим профилем и углом при вершине α . Доказано, что в этом случае условный радиус шлифования $R_{усл}$ (конической части круга) больше радиуса круга $R_{кр}$ и определяется

$$R_{усл} = \frac{R_{кр}}{\sin \alpha / 2}. \quad (12)$$

Это означает, что при шлифовании данным кругом (по сравнению с шлифованием периферией круга) в формировании шероховатости поверхности участвует большее количество зерен. А это ведет к уменьшению шероховатости поверхности. При условии $\alpha/2=10\dots20^\circ$ (что имеет место на практике) условный радиус $R_{усл}$ может быть увеличен в 3...5,5 раз (рис. 8). При условии $\alpha/2 \rightarrow 0^\circ$ условный радиус $R_{усл} \rightarrow \infty$. В результате приходим к шлифованию торцом круга, обеспечивающим наименьшую шероховатость поверхности. Таким образом показано, что увеличение угла $\alpha/2$ предполагает переход от шлифования периферией круга к шлифованию кругом с двухсторонним коническим профилем и в последствии к шлифованию торцом круга (рис. 9). При этом эффект уменьшения шероховатости поверхности достигается без увеличения площадок износа на зернах круга, что является, например, основным условием уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании периферией круга. Это свидетельствует о том, что шлифование торцовым и конусным кругами может осуществляться острыми зернами, обеспечивая этим высокую режущую способность круга и соответственно высокие показатели производительности и качества обработки. Важным является и то, что для уменьшения шероховатости поверхности не обязательно уменьшать зернистость круга (как при шлифовании периферией круга), а это создает дополнительные резервы повышения эффективности шлифования.

Следовательно, применение шлифование торцовым и конусным кругами является одним из основных направлений повышения качества и производительности обработки на операциях зубошлифования, возможности осуществления финишной обработки без применения последующих трудоемких операций доводки свободным абразивом.

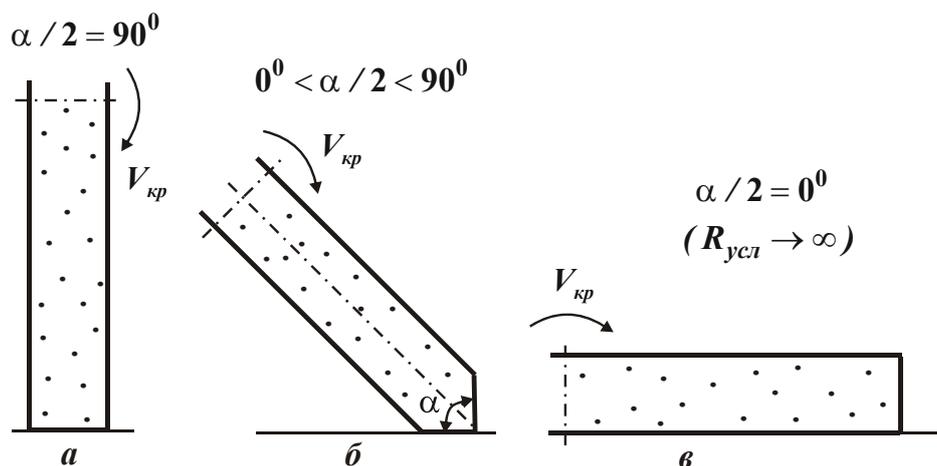


Рис. 9 – Схема перехода от шлифования периферией круга (а) к шлифованию кругом с двухсторонним коническим профилем (б) и к шлифованию торцом круга (в)

Проведены работы по разработке и внедрению в производство эффективных операций зубошлифования зубчатых колес приводов шахтных конвейеров [6]. Экспериментально установлено, что при шлифовании стали 18ХГН2МФБ твердостью $HRC\ 57\dots 63$ энергоемкость обработки (условное напряжение резания) σ изменяется в пределах $1311,7\dots 1696,4$ кГс/мм², а отношение l_1/l_2 , установленное расчетно-экспериментальным путем (рис. 10), равно $l_1/l_2 < 0,2$. Поэтому на каждом последующем проходе круга нельзя устранить нарушенный

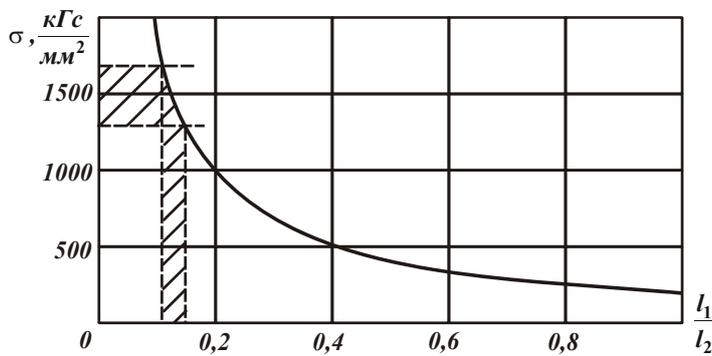


Рис. 10 – Зависимость σ от l_1/l_2 для $\theta=800\ ^\circ\text{C}$

на предыдущем проходе (в результате теплового воздействия) поверхностный слой детали. Повысить качество обработки в этих условиях можно лишь за счет уменьшения температуры шлифования θ путем уменьшения энергоемкости обработки, что достигается применением кругов с более высокой режущей способностью.

Используя экспериментальные значения энергоемкости обработки, произведены расчеты по зависимостям (5) и (6) оптимальных параметров режима шлифования зубчатого колеса из стали 18ХГН2МФБ твердостью $HRC\ 57\dots 63$ по критерию наименьшего штучного времени обработки с учетом ограничения по температуре шлифования θ .

Теоретически установлено, что при зубошлифовании на станке мод. 5843ЕМ (работающим по методу обкатывания кругом конического профиля) абразивным кругом 2П 400x32x127 24А10СМ2К6 съем припуска 0,4 мм может быть произведен за 5 проходов круга с глубиной шлифования $t=0,08$ мм и скоростью детали $V_{дет}=12$ м/мин. Исходные данные для расчета: $c \cdot \rho=5 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град); $\lambda=42$ Вт/(м·град); $\sigma=15 \cdot 10^3$ Н/мм²; $\theta=800\ ^\circ\text{C}$; $\Pi=0,4$ мм; $L=100$ мм; $\tau_{всп}=0,5$ с; $B=6,32$ мм.

Экспериментальные исследования показали, что исключить образование прижогов на обрабатываемой поверхности при шлифовании данным кругом можно при глубине шлифования не более 0,07 мм (рис. 11). Это указывает на незначительное расхождение расчетных и экспериментальных данных (до 15 %) и свидетельствует о достоверности полученных теоретических решений. Экспериментально установлено, что шлифование кругом T1ESP 400x32x127 93A46M15WPG11W, обладающим повышенной режущей способностью, позволяет увеличить предельную глубину шлифования и скорость круга (при которых исключается образование на обрабатываемых поверхностях прижогов) соответственно до значений 0,15 мм и 40 м/с. Следовательно, применение дан-

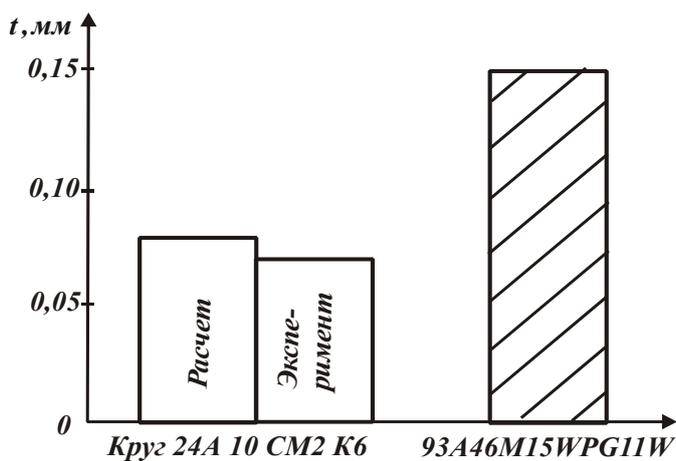


Рис. 11 – Расчетные и экспериментальные значения предельной глубины шлифования t

ного круга позволяет съём заданного припуска 0,4 мм осуществить за 4 прохода, гарантированно исключая образование прижогов и микротрещин на обрабатываемых поверхностях. При этом увеличиваются стойкость круга между правками с одной до трех смен и срок работы круга до его полного износа с одного до трех месяцев. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении производительности обработки и о возможности реализации установленного теоретиче-

ски наименьшего штучного времени обработки для заданной температуры шлифования. Экспериментально установлено, что с уменьшением глубины шлифования энергоёмкость обработки σ увеличивается, а уточнение ε уменьшается (рис. 12). Это вытекает также из приведенной выше зависимости

$$\frac{\sigma \cdot B \cdot V_{дет}}{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot (\varepsilon - 1) = 1, \quad (13)$$

т.е. чем больше энергоёмкость обработки σ , тем меньше уточнение ε . Этим, собственно, объясняется высокая трудоёмкость достижения на практике повышенных показателей точности обработки за счет уменьшения глубины шлифования. Из этого также вытекает, что наиболее полное представление о физической сущности и технологических возможностях шлифования можно получить на основе анализа по зависимости (13) двух взаимосвязанных между собой параметров: энергоёмкости обработки и уточнения, которые определяют силовую напряженность шлифования в направлении действия тангенциальной и радиальной составляющих силы резания.

Экспериментально установлено, что применение абразивного круга с двухсторонним коническим профилем типа 2П при зубошлифовании на указанных выше режимах резания позволяет стабильно обеспечить параметр шероховатости обработки $R_a < 0,6$ мкм.

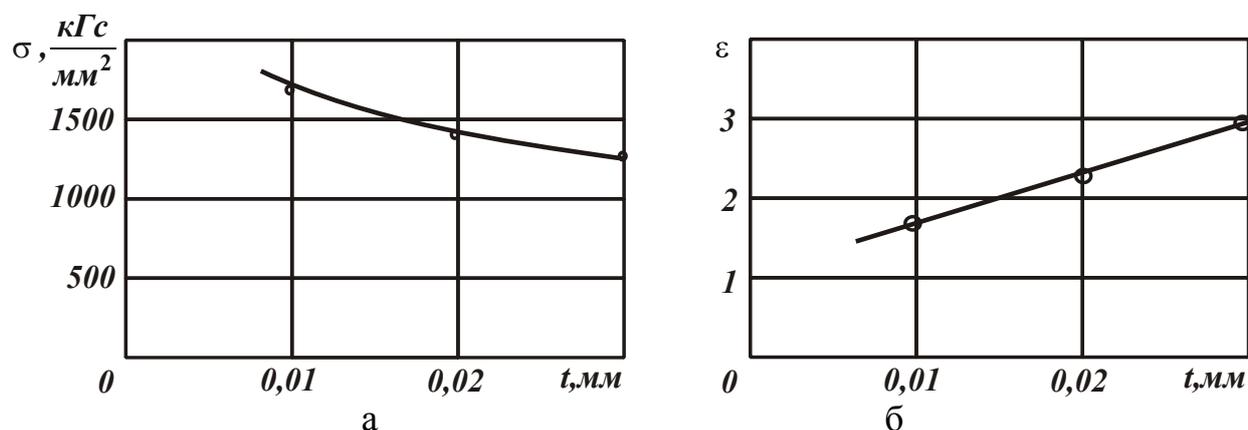
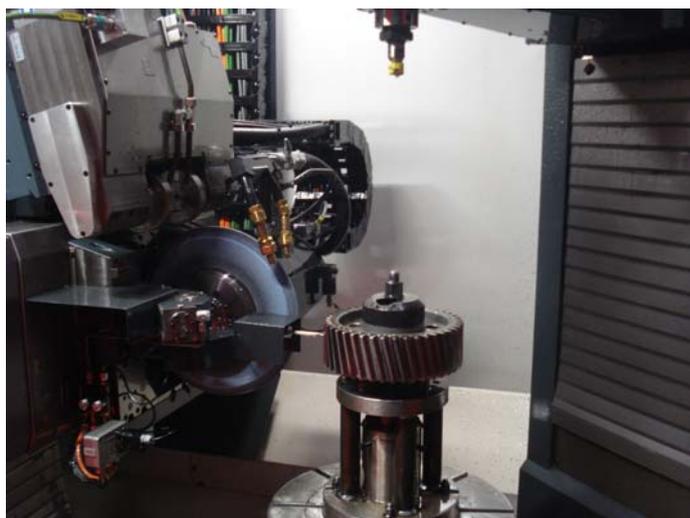


Рис. 12 – Зависимости σ (а) и ϵ (б) от глубины шлифования t

Для измерения параметров точности обработки зубчатых колес применена современная координатно-измерительная машина (КИМ) GLOBAL Perfomance 122210 производства итальянской фирмы DEA (концерн Hexagon). Установлено, что при этом существенно сокращается время и повышается точность и стабильность измерений, снижается потребность в дополнительной контрольной оснастке, появляется возможность измерения тех размеров, которые ранее имеющимися техническими средствами не могли быть измерены. Разработаны "Правила пользования протоколами КИМ для зубчатых передач", которые позволяют учесть разницу в данных между стандартом ISO и действующими ГОСТами, по которым разрабатывается заводская техническая документация. Установлено также, что, используя результаты измерений зубчатых колес с помощью координатно-измерительной машины, можно сократить сроки и повысить качество и надежность наладки зубошлифовального станка с целью обеспечения требований по точности обработки зубчатых колес. Это позволяет уменьшить количество проходов при окончательном шлифовании и выхаживании и снизить до 2-х раз трудоемкость обработки. Так, установлено, что съем припуска величиной 0,4 мм может быть произведен за 3 черновых прохода, 1 чистовой проход и 1 проход при выхаживании. Согласно действующей технологии, обработка производится за 5 черновых проходов, 2 чистовых и 1–2 прохода при выхаживании.

Полученные в работе результаты исследований были также использованы для выбора оптимальных условий обработки при зубошлифовании на станке мод. HOFLER RAPID 1250, обеспечивающим шлифование по методу профильного копирования за счет применения специального профильного абразивного круга (рис. 13).

Разработанные операции зубошлифования зубчатых колес внедрены в основное производство ПАО "Свет шахтера" на 4-х зубошлифовальных станках. При этом гарантированно обеспечиваются требования по качеству, точности и шероховатости ($R_a < 0,6$ мкм) обрабатываемых поверхностей зубчатых колес приводов шахтных конвейеров, что позволило повысить надежность и ресурс их работы до уровня мировых производителей аналогичной продукции.



а



б

Рис. 13 – Обработка на зубошлифовальном станке модели HOFLEER RAPID 1250 (а) и общий вид круга для шлифования по методу профильного копирования (б)

Выводы. В работе определены оптимальные условия обработки для зубошлифования зубчатых колес приводов шахтных конвейеров с учетом ограничений по температуре резания, точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Установлено, что повысить качество обработки можно исключительно за счет уменьшения условного напряжения резания путем снижения интенсивности трения в зоне резания и повышения режущей способности круга. Показано, что наименьшее штучное время обработки для заданной температуры шлифования достигается при условии равенства основного и вспомогательного времени. Обоснованы возможности уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании кругом с двухсторонним коническим профилем и показано, что эффект обработки достигается за счет увеличения условного радиуса шлифования. Доказано, что применение кругов с повышенной режущей способностью при зубошлифовании позволяет снизить до 2-х раз трудоемкость обработки, гарантированно исключая образование прижогов и микротрещин на обрабатываемых поверхностях.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Качество изготовления зубчатых колес / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1979. – 279 с. 2. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 3. Сильвестров Б.Н. Зубошлифовальные работы: учеб. пособие / Б.Н. Сильвестров. – М.: Высшая школа, 1985. – 272 с. 4. Новиков Ф.В. Теоретическое обоснование путей уменьшения температуры при шлифовании / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский, А.Н. Ковальчук, Е.И. Иванов // Вісн. НТУ"ХП". Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2010. – № 25. – С. 83-91. 5. Нежебовский В.В. Выбор оптимальных условий шлифования по критерию шероховатости поверхности / В.В. Нежебовский // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 81. – С. 151-158. 6. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров режима шлифования зубчатых колес / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып.12. – С.56-62.

NEURAL NETWORK CONTROL FORMING PARTS CAPACITY BY MATERIAL

Kovalevskyy S.¹, Kovalevska O.²

¹Donbas State Engineering Academy, Ukraine, ²National Technical University of Ukraine,
Kyiv Polytechnic Institute (KPI), Kyiv (Ukraine) kovalevskii@i.ua

New methods of forming parts are purpose. A plant for the cultivation of parts of various configurations, is a conceptual possibility of manufacturing parts by capacity, as well as experimentally determined the conditions for achieving high performance layering parts capacity. The hypothesis of the transfer material onto the surface details of spark electric discharge. Created informative model for investigating the dependence of the volume grown parts of the frequency and capacity of current pulses by means of neural network modeling Neuro Pro 0.25. The technological recommendations for application installation are given.

Keywords: forming technology, electro technology, additive technology, mechanical engineering, neural networks.

Нейросетевое управление формообразованием деталей методом наращивания материала / Ковалевский С.В., Ковалевская Е.С.

Предложен новый метод формообразования деталей. Разработана установка для выращивания деталей различной конфигурации, показана принципиальная возможность изготовления деталей методом наращивания, а также экспериментально определены условия достижения высокой производительности послойного наращивания детали. Подтверждена гипотеза о переносе материала на обрабатываемую поверхность детали искровым электрическим разрядом. Создана информативная модель для исследования зависимости объема выращенной детали от частоты импульсов наращивания и силы тока с помощью нейросетевого моделирования Neuro Pro 0.25. Разработаны технологические рекомендации по применению установки.

Ключевые слова: формообразование, электротехнологии, аддитивные технологии, машиностроение, нейронные сети.

Нейромережеві управління формоутворення деталей методом нарощування матеріалу / Ковалевський С.В., Ковалевська О.С.

Запропоновано новий метод формоутворення деталей. Розроблено установку для вирощування деталей різної конфігурації, показано принципову можливість виготовлення деталей методом нарощування, а також експериментально визначено умови досягнення найвищої продуктивності пошарового нарощування деталі. Підтверджено гіпотезу про перенесення матеріалу на оброблювану поверхню деталі іскровим електричним розрядом. Створено інформативну модель для дослідження залежності обсягу вирощеної деталі від частоти імпульсів нарощування і сили струму за допомогою нейросітьового моделювання Neuro Pro 0.25. Розроблено технологічні рекомендації щодо застосування установки.

Ключові слова: формоутворення, електротехнології, адитивні технології, машинобудування, нейронні мережі.

Additive manufacturing is technological concept that actively developed in all developed countries in the second half of the twentieth century. Workflows manufacturing parts based on traditional layered removal of material blank for details specified size, shape and quality. Implemented the principle of production "from larger to smaller." Rapid Prototyping concept means the direct manufacture of the product or

prototype using generative technologies. However, under the original prototype understand the physical representation of the product is made later test model or design model. Each type of physical specimen, model or layout as the prototype should be possible to improve the product and reduce the way from idea to final product. Prototypes should have a high level of abstraction and be simple, have a level of properties, sufficient for testing at the design stage. The principle concept of Additive Manufacturing technology is that the product created through layered adding material in various ways, such as weld or Chemically powder, liquid polymer composite material. This concept is intended to complement traditional production methods are based on the removal of primary material. The technology allows you to get even micron internal cavities of different configurations (cylindrical, conical, spiral channels, branches, etc.), Which are inaccessible to traditional ways of manufacturing products [18, 3].

This promising technology for manufacturing products of individual and small-scale production in many industries (engineering, aviation and space industry, medicine, etc.). Using this technology allows to produce parts with internal curved holes are made available at other methods of treatment. Direct production from CAD and lack many transitions and changes in details on positioning the machine as in traditional methods of production, provides a highly accurate product [1, 4].

Thus, viewed the process of combining materials to create an object with data - digitized model is different from the production technologies are "taken away." When technologies are "subtracted" means machining - removing material from solid billet. Indeed, there are two basic ways to produce products. The first - through machining, gradually getting rid of all the excess: cutting, beating, performing drilling. Second - additive, gradually adding material and increasing the required form [13, 2].

Previously, this technology is called rapid prototyping technologies [15,14], but as production models and models for 3D-printers to create end turned and serial products use the term "prototype" can not. The question of terminology was considered separately as part of the international organization ASTM (American Society for Testing and Materials), which is developing technical standards for a wide range of materials, products, systems and services. ASTM (in its standard ASTM F2792.1549323-1) defines additive technology as a process of combining materials to create an object with 3D-model data, usually layer upon layer [6, 15, 14].

Features additive technologies:

- A significant savings at start of production (as needed to run production can be stored digitally and reproduced without material costs;
- The possibility to amend at any stage of adjusting CAD-file;
- Quick adaptation to constantly changing market conditions - lot size can be easily changed at any time depending on the increase or decrease in demand;
- Additive print technologies allow parties in which each piece is slightly different from the previous one, allowing you to create personalized products production lines;
- The availability and the lack of the usual restrictions.

Basically all the major technology accelerated formation realize generative principle "from small to large" with permanent connection of consecutive single lay-

ers volume. Products of any complexity forms are signed (and sealed) one to the other layers of 2D contour of constant or variable thickness.

Classification of additive technologies (by ASTM) includes the following technologies [15, 14, 5, 2].

- Material Extrusion - «extrusion material" or application layer fused construction material through the extruder;

- Material Jetting - «spraying (building) material" or layered jet causing building material;

- Binder Jetting - «spraying binder" or jet application layer binder material;

- Sheet Lamination - «sheet material connection" or layers forming Sheet building materials;

- Vat Photopolymerization - «photopolymerization in the bathroom," or hardening layer photopolymer resins;

- Powder Bed Fusion - «melting material layer formed in advance" or sequential formation of layers of powder building materials and selective (selective) sintering particles of building materials;

- Directed energy deposition - «direct power carts directly to the place of construction" or layers forming product by entering the building material directly to place energy supply.

The most common technologies include Bad Deposition technologies that include [5, 2]

- SLA (Stereo Litography Apparatus) - layered cultivation models using ultraviolet laser;

- SGC (Solid Ground Curing) - multistage process using ultraviolet laser and milling everyone layer;

- SLS (Selective Laser Sintering) - laser sintering of powder components.

The most common techniques include Direct Deposition technologies that include [15, 14, 5]:

- DMD - Direct Metal Deposition (company POM, USA);

- LENS - Laser Engineered Net Shape (Optomec, USA);

- DM - Direct Manufacturing (Sciaky, USA);

- MJS - Multiphase Jet Solidification (USA) and others.

Direct or direct deposition (material), that is directly to the point where energy is supplied and where there is currently construction detail fragment [9, 8, 11, 12, 1].

Additive technologies differ choice of materials and their method of application, but in all cases, creating a model based on layered building. The most common application of two methods: inkjet and laser. By way of jet include technologies such as simulation method of welding (Fused deposition modeling).

By laser method applies layer lamination (Laminated object manufacturing), selective laser melting (Selective laser melting), selective laser sintering (Selective laser sintering), directive laser sintering (DMLS), Laser surfacing metal (Laser metal deposition) and laser stereolithography (Laser stereolithography), stratified products manufacturing (LOM) and others [4, 7].

Modern production is characterized by relatively rapid change products, often does not change the basic components that determine the quality of product functional-

ity and design - case details, decorative elements, usually made by molding, including in-thermoplastic machines. For this reason, in some cases, eliminates the need for expensive tooling to withstand hundreds of thousands of cycles [13, 19].

AM-machine 3D Systems, POM, Omtomec Fabrisonic and successfully used for the manufacture of molds with copper cooling cores and the so-called conformal cooling system configuration to match the geometry of details. In other words, the cooling channels are laid in array form as necessary, and not as traditional technologies allow. The use of molds with a uniform or controlled cooling reduces the time spent casting in the form of 30%. In this case, the AM-technology is not the traditional opposition CNC-processing, and offer new opportunities to optimize costs and increase efficiency [15, 18, 10].

Direct Manufacturing or "direct production" - production of metal parts as a commercial product serial production is also one of the objectives of AM-technology. This trend is developing in as the growing list of building materials, but talk about a serious competition "subtraction" technology is premature. However, in some industries - aviation industry, shipbuilding, power engineering and dental medicine and reconstructive surgery introduction of additive technologies, most notably [2, 13].

There is also positive experience of using technology to repair AM- expensive products, such as CCD working bodies turbines, shafts and so on. N., And for the application of protective and wear resistant coatings (technology DMD, LENS) [4]). And, of course, AM technology have a huge advantage over traditional by reducing the time and cost during the research. Conducting research variant, the rapid production of prototypes allowed in order to reduce R & D time and as a result, significantly compress the release date of new products on the market [9, 8].

Layered method of building parts of itself given the new opportunities opened new horizons for design work, took many technological limitations. It was possible that it was basically impossible before. You can "grow" "detail in the details" can "grow" part with variable thickness material properties (called gradient materials), you can "grow" mesh design that can not be obtained either by casting or machining [17, 3].

Basic part

Literature review described in the first chapter, points to the need to address the problem of formation of products with minimal energy, material living labor. We have a problem - the development of cultivation technology of machine parts.

The problem is also relevant that the analogs used today - electric-doping prototyping of parts and others. do not allow a piece of metal. The relevance of this method can be explained by high economic, physical and mechanical characteristics of the method, the ability to obtain details of different configurations and different chemical composition.

Workflows manufacturing parts based on traditional layered removal of material blank for details specified size, shape and quality. Implemented the principle of production "from larger to smaller." Rapid Prototyping concept means the direct manufacture of the product or prototype using generative technologies. However, under the original prototype understand the physical representation of the product is made later test model or design model. Each type of physical specimen, model or layout as the prototype should be possible to improve the product and reduce the way

from idea to final product. Prototypes should have a high level of abstraction and be simple, have a level of properties, sufficient for testing at the design stage. Prototyping products, their model also requires a lot of time. Due to the fact that in a market economy, a prerequisite for preserving the competitiveness of products is the use of resource-saving production processes, one of the promising directions is the formation of metal. The aim of this work is to develop plants for growing various configuration details, show the fundamental possibility of manufacturing parts by increasing and experimentally determine the conditions to achieve the highest performance layered build-up details.

Our experimental studies are based on the assumption of the possibility of manufacturing parts by extension parts of various configurations, shapes and sizes.

We know that there is a method electric-doping process whose essence is to transfer the material on the work surface detail spark electric discharge. This method ensures strong adhesion of the alloying material is introduced to the surface details. A valuable feature of electric-doping is that it provides a very strong bond with the hardened layer alloyed metal, but this method does not provide the growing metal. We also know about the method Fused Deposition Modeling - modeling heating, which is shaping models using molten extrusion material through one or more nozzles. The advantages of the process include high performance, non-toxic materials used and the ease of adjustment from one material to another, compact installation and lower costs. This method is not without drawbacks: low strength and the bond between layers need for strict temperature control to avoid stratification, the need for continuous movement of the extruder to prevent hardening of the material necessary technological props.

Since the method of growing metallic parts are not invented, we can hypothesize about this technique, which is to transfer the material on the work surface detail spark electric discharge. Thus, on the border of electrical doping, the process was more stable, it is necessary to control the duration of the contact electrode and the work piece surface. But here we need to control when growing character was formed and the electrode is ready to contact the place of cultivation - transfer. This occurs when we can adjust the frequency and duty cycle.

We assume that if the process of stable transfer, this process will efficiently carry metal, so it will grow the biggest way. If at the same time it has grown to the same height, which means that the highest speed. We have the highest rate as a sign of doing such a rational process.

To create the foundations of a new method of shaping how we use analog electric-doping method and a method Fused Deposition Modeling, but these methods do not allow a piece of metal.

In the final results of influencing variables factors: the current in the primary circuit, frequency, duty cycle control oscillator and duration of exposure.

To investigate the possibilities of process within the prescribed regime change was adopted following the procedure of the experiment:

- Plan an experiment in which the input variables are taken: the current in the primary circuit electric device, operating cycle frequency and duration of exposure generator cycle;

- Randomized order levels change factors;
- To build a mathematical model of the process used neural network processing experimental data tuple created by computer package NeuroPro 0,25.

Using neural network modeling enables a scientific foundation for experimental research, based on what you can give an objective assessment of the results of the experiment. Neural network modeling is used to address weak formalized problems with incomplete information when a large number of input factors, no single approach to receiving them.

The neural network - a system consisting of a large number of simple computational elements. The result of each element depends on its internal state. All elements are independent of each other, ie without synchronization with other elements.

The use of neural networks provides the following benefits:

- Nonlinearity. Neural networks can get the nonlinear dependence of the output signal from the input;
- Adaptability. Neural networks have the ability to adapt their synaptic weight to environmental changes. Moreover, to work in unsteady environments (where statistics change over time) can be created neural network synaptic weights are changed in real time;
- Fail. Neural networks are implemented on the basis of electronic components, potentially resistant to failure, because the context information distributed to all relations of the neural network, and the failure of one or more nodes does not result in failure of the whole system;
- Monotony analysis and design. Neural networks can solve complex computational problems by using the same simple computing units - neurons. This commonality allows for the same learning algorithms for various applications.

Based on a used set of parameters (ie, the experimental results with known input and output factors) made learning neural network. The trained neural network using the appropriate mathematical apparatus acquires the ability to build associative links between input and output factors and the technical system is a model of the phenomenon by which you can carry out targeted research.

For research developed experimental stand which implements the principle of the proposed process. Scheme experimental stand - Installations for cultivation shown in Fig. 1. Experimental stand consists of two units. 1- power circuit, which ensures the supply of the working electrode material for future high-level details of a positive sign. 2 - supply management working electrode from the control of the generator. The main feature of this scheme is the ability to adjust the vibration electrode with variable frequency and variable duty cycle.

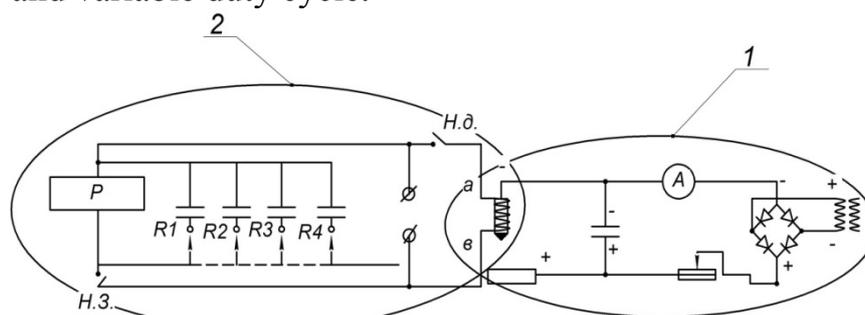


Fig. 1 – Apparatus for growing

Power circuit (Fig. 2), is designed to generate a current pulse frequency at a constant frequency. Consists of: DC power and charge-discharge unit. Source DC assembled on the autotransformer (1) and diodes incorporated in bridge circuits (2) and resistors (3). As the charge-discharge unit serves as a capacitor (5).

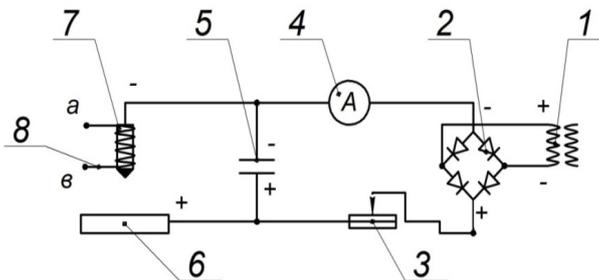


Fig. 2 – Power circuit

Switchgear serving the working electrode from the control generator (Fig.3), designed to bit circuit vibrating electrode. It consists of an electromagnet (8), relay (9) and capacitors (10). Installation works as follows. When the autotransformer (1) to 220 V, appears to set a variable current that passes through the diode bridge (2) and becomes constant. With autotransformer, we can adjust the output voltage. The positive conclusion diode bridge connected resistor (3), which is needed to regulate the current charge-discharge circuit installation. The magnitude of this current we can see on ammeter (4).

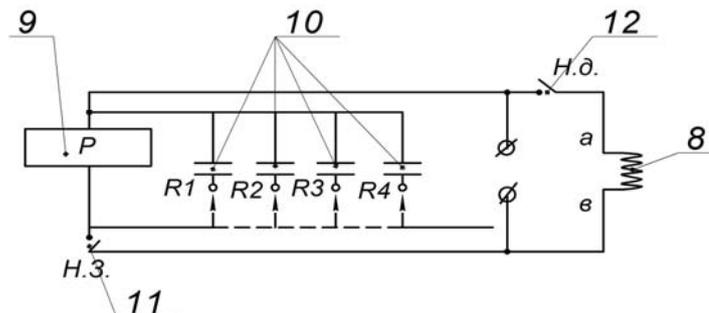


Fig. 3 – Device management serving the working electrode from the control of the generator

The discharge capacitor (5) connected to its endorsement of the treated piece (6). The negative conclusion is connected to the tool, which is fixed to the core of the electromagnet (7). Capacitor for consumption DC charging when there is a discharge circuit - is low, thus between the electrode and the work piece slips spark. Spark in place its action causes a high temperature, which leads to the melting of the metal on the surface of the part. For the process of sustainable cultivation should ensure periodic metal instrument contact with the work piece at a certain frequency. This contact provides electromagnetic vibrator.

When the device controls supply of working electrode relay (9) turns through a normally closed contact (11). Parallel to this is charged capacitor (10), because it is in parallel relay coil. Thus, when the engage relay, normally closed contact broke and normally open (12) closes - in this case turns on the electromagnet coil (8) and drag your core (7). Then the relay coil voltage of lost, but because due to the energy ac-

cumulated capacitor (10), for some time because of its coil will flow current, switch off immediately. When contacts, normally closed shut again begin charging capacitor - the cycle repeats. The frequency of switching the relay depends on the parameters and face values of capacitors that can be switched by the switch. The higher the denomination of the capacitor, the longer he will be discharged. This provides constant continuous oscillation tool.

The work used according to the parameters of current strength, time and frequency of cultivation (Table 1).

Table 1

Output

I, A	F, Hz	t, min	I, A	F, Hz	t, min	I, A	F, Hz	t, min
0,5	5,0	1,0	0,5	15,0	1,0	0,5	25,0	1,0
0,5	5,0	2,0	0,5	15,0	2,0	0,5	25,0	2,0
0,5	5,0	3,0	0,5	15,0	3,0	0,5	25,0	3,0
1,0	5,0	1,0	1,0	15,0	1,0	1,0	25,0	1,0
1,0	5,0	2,0	1,0	15,0	2,0	1,0	25,0	2,0
1,0	5,0	3,0	1,0	15,0	3,0	1,0	25,0	3,0
1,5	5,0	1,0	1,5	15,0	1,0	1,5	25,0	1,0
1,5	5,0	2,0	1,5	15,0	2,0	1,5	25,0	2,0
1,5	5,0	3,0	1,5	15,0	3,0	1,5	25,0	3,0

For more accurate results every cycle of growing produce in the same time. In our work, take equal time $t = 1, 2, 3$ min. Each cycle repeat 3 times. The results are set out in Table 2.

Table 2

The results

№ sample	V mm³	№ sample	V mm³	№ sample	V mm³
1	1,1254	10	1,1103	19	0,6159
2	2,4449	11	2,5076	20	0,6422
3	2,2081	12	1,4092	21	0,7116
4	1,2478	13	1,8165	22	0,4103
5	2,5204	14	5,8006	23	1,8047
6	4,8515	15	3,1306	24	3,2804
7	2,8208	16	2,6078	25	2,7465
8	3,7542	17	7,0803	26	2,7052
9	7,1707	18	3,9849	27	3,7564

Using neural network modeling to create very informative model and apply it to study the dependence of farmed details on frequency and pulse amperage capacity. For this operation the program used Neuro Pro 0.25.

Based on the initial data used table - tuples (ie, the experimental results with known input and output volume indicator grown item details) trained neural network, which includes information on associative connections.

The model helped determine the dependence increasing material details depending on the frequency generator and control the current in the first (working) circuit.

Conclusion

Considered in this paper technology is not only modern and highly effective but innovative in nature, since most allow you to generate new technologies carry new quality. Additive Manufacturing -Technology rightly belongs to the technology of the XXI century. Besides the obvious advantages of speed and often in the cost of manufacturing products, these technologies have an important advantage in terms of environmental protection, particularly greenhouse gas emissions and "thermal" pollution. Additive technologies have great potential to reduce business energy costs to create a variety of products. Finally, the degree of use of Additive Manufacturing-technologies in material production is a sure indicator of real industrial power state indicator of its innovation.

In previous studies formulated the hypothesis that if the process is stable transfer of material, this process will efficiently carry metal thus grown item details will grow the biggest way. If the metal at the same time rose to the same height, which means that the highest speed. We can hypothesize about the method of formation, which is to transfer the material on the work surface details of the molecular electric spark discharge. But here we need to control that when growing character is formed and the electrode is ready to connect to the place of cultivation - transfer. Therefore, in the developed experimental setup and methods of experimental research.

A new method of growing parts of various configurations and experimentally determine the conditions to achieve the highest performance layered build-up details. Developed experimental setup for growing parts of different configurations. Completed experimental studies and the results processed using neural network modeling. Developed technological guidelines for a new installation.

Reference

1. *David, L.* A Brief History of Additive / *L. David Bourella, J. Joseph Beaman, Jr.a, Ming C. Leub and W. David Rosenc.*- Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. RapidTech.-2009.-328p.
2. *Beaman, J. J.* Solid Freeform Fabrication: / *J. J. Beaman.* - An Historical Perspective. - The University of Texas. Austin, - Texas. - 2007. - 30-35 p.
3. *Techel, A.* et al. Laser Additive Manufacturing of Turbine Components // Precisely and Repeatable. Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (IWS).:-1998.-50-55r.
4. *Bezobrazov, YU.A.* Analiz struktury obrazcov, poluchennyh DMLS- i SLM-metodami bystrogo prototipirovaniya. / *YU.A. Bezobrazov* i dr.-SPbGPU.-2001.-457 c.
5. *SHabrov, N. N.* Real'nye dostizheniya virtual'noj real'nosti // Rational Enterprise Management. – 2011. – № 2. – S. 46-48.
6. *Cambol, J.* 3 -D Printing Manufacturing Process is Here// Independent global forum for the Unmanned Aircraft Systems community,-UAS Vision №3.-1997.-18-22r.
7. Internet resurs: www.makrum.fi/blog/matsuura-uudistanut-mam72-35v-pystykaraisentyostokeskuksen/
8. *Yasa, E.* et. al. The investigation of the influence of laser re-melting on density, surface quality and microstructure of selective laser melting parts // Rapid Prototyping Journal. – 2011. – Vol. 17. – Iss: 5. –. 312-327 R.
9. *Yasa, E.* Application of laser re-melting on Selective laser melting parts. Catholic University of Leuven, Dept. of Mech. Eng, Heverlee, Belgium. Advances in Production Engineering / *E. Yasa, J. Kruth* Management 6.-2011.- 259-270 r.
10. *Beyer E.* New Industrial Systems & Concepts for Highest Laser Cladding Efficiency. Fraunhofer // Institut für Werkstoff- und Strahltechnik. MAY 6, 2011.-150-169 r.

11. Dutta V. et. al. Additive Manufacturing by Direct Metal Deposition ADVANCED MATERIALS & PROCESSES • MAY.-2011.-33-36 r.
12. Beyer E. New Industrial Systems & Concepts for Highest Laser Cladding Efficiency. Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik. MAY 6, 2011.-№25.-27 r.
13. Osokin, E. N. Processy poroshkovoj metallurgii. / E. N. Osokin, O. A. Artem'eva.– Krasnoyarsk: IPK SFU, 2008.- 452 c.
14. Hohmann, M. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. / M. Hohmann, G. Brooks, C. Spiegelhauer Produktionsmethoden und Anwendungen für qualitativ hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005.-258 r.
15. Internet resurs: www.raymor.com.
16. Boulos M. Plasma power can make better powders//Metal Powder Report. 2004. – Vol. 59. – Issue 5. – 16-21r.
17. Fngelo, H. C. Powder Metalurge: Science, technology and application. / H. C. Fngelo, R. Subramanian – New Dehli,-2009.-128r.
18. Internet resurs: www.ewi.org/additive-manufacturing-consortium/
19. Internet resurs: www.tctmagazine.com/articles/uk-government-offersinvestment-in-am/
20. Internet resurs: www.arcam.com/technology/products/arcam-q10/
21. Internet resurs: www.3dprinterplans.info/tag/nanfeng-ventilator-co/
22. Internet resurs: www.polymer.ru/letter

УДК 621.95

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА, ОТЛИЧНОГО ОТ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ В КОМПОЗИТАХ

Хавин Г.Л., докт. техн. наук

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Представлен анализ экспериментальных и теоретических исследований качества работы специальных сверл. Рассмотрены закономерности их изнашивания и влияние различных технологических факторов на уменьшение величины дефектов при сверлении композитов.

Ключевые слова: изнашивание специальных сверл, дефекты сверления.

Надано аналіз експериментальних та теоретичних досліджень якості роботи спеціальних свердел. Розглянуті закономірності їх зношування і вплив різних технологічних факторів на зменшення величини дефектів при свердленні композитів.

Ключові слова: зношування спеціальних свердел, дефекти свердження.

The analysis of experimental and theoretical investigations of the quality of special drills are presented. The regularities of their wear and the influence of different technological factors on the reduction in the amount of defects when drilling composites are considered.

Keywords: wear special drills, drilling defects.

Введение и анализ состояния вопроса. Интенсивность воздействия различных композитов и влияние армирования на износ инструмента, отличного по своей конфигурации от традиционного спирального сверла, изучены достаточно мало. Имеются частные экспериментальные исследования, которые пока не позволяют сделать какие-либо однозначные выводы и получить обобщаю-

щие закономерности [1–10]. Из природы свойств наполнителя и связующего можно предположить, что влияние физико-механических характеристик наполнителя на изнашивание инструмента, будет более значительным, чем связующего. Поэтому в исследованиях уделяется больше внимания влиянию армирования и количества наполнителя на интенсивность износа, чем связующего.

Целью работы является всесторонний анализ процесса изнашивания сверл, конфигурация которых отличается от спирального сверла и его модификаций, износ которых имеет свою ярко выраженную специфику и является характерным в каждом случае. Геометрия режущей части специальных сверл определяет вид и интенсивность его изнашивания. Создание сверл со специальной геометрией режущей части, связано с обеспечением высокого качества обработки отверстий. При этом может не выполняться высокое сопротивление износу и стойкость инструмента. Также целью работы является анализ влияния различных факторов технологического процесса, марки и типа переплетения композита, объемного содержания наполнителя.

Постановка проблемы. Изнашивание специальных сверл проявляется в каждом конкретном случае по-своему. Поэтому общая закономерность предсказания износа отсутствуют. Существует многочисленные экспериментальные работы, описывающие поведение того или иного типа инструмента.

Экспериментально исследовано сверление тканого углепластикового ламината переплетением 2/2, толщиной 10 мм, с содержанием наполнителя 55-60%, четырьмя типами инструментов из твердого сплава без покрытия диаметром 4 мм: двугранное стандартное спиральное сверло – 1; трехгранные сверла с углами при вершине 150 и 135° – 2,3 и специальное сверло с 4-мя прямыми гранями и вершиной сложной конфигурации в виде двух ступеней – 4 [11]. В проведенных экспериментах контролировалось две основные величины: максимальный износ граней и закругление режущей кромки.

Анализ полученных результатов позволил сделать авторам ряд важных выводов. Во-первых, наблюдается очень четкая взаимосвязь между значением величины закругления режущей кромки и величиной действующей нагрузки, а также между закруглением и расслоением материала на входе/выходе инструмента. Во-вторых, закругление режущей кромки развивается относительно равномерно и практически идентично для всех видов инструментов, использованных в экспериментах. Среди инструментов наибольший износ грани наблюдался для второго и третьего инструмента (трехгранные сверла с углом при вершине 150 и 135°), а затем для первого. Сверло с четырьмя очень длинными режущими гранями, показало самый низкий износ по граням. Зависимость осевой силы и крутящего момента от износа по грани носят традиционный квазилинейный характер. При этом наибольшие значения осевой силы имели место для сверла с углом при вершине 150°, а наибольшие значения крутящего момента для четвертого инструмента с четырьмя режущими кромками.

Зависимость величины закругления режущей кромки от числа просверленных отверстий носит линейный характер и практически идентично для всех видов инструментов кроме четвертого, у которого значения закругления режущей кромки заметно ниже. С увеличением закругления режущей кромки растут

значения осевой силы и крутящего момента. Причем наиболее интенсивно осевая сила растет для инструмента с углом при вершине 150° , а значение крутящего момента для четвертого инструмента. Результаты зависимости влияния износа по грани и закругления режущей кромки по своему качественному влиянию идентичны между собой.

Изнашивание ступенчатого и стандартного спирального сверла экспериментально изучалось в [12]. Проведено сравнительное исследование работы инструментом из твердосплавного материала K20 с углом при вершине 136° и вторым углом у ступенчатого сверла 90° . Задний угол у спирального сверла – $8,58^\circ$, у ступенчатого сверла – $8,65^\circ$, угол наклона винтовой канавки – $32,5^\circ$. Частота вращения шпинделя принималась равной 2020 и 2750 об/мин, подача принималась – 0,05; 0,10; 0,15 и 0,30 мм/об. Экспериментальные результаты работы ступенчатым сверлом представленной геометрии в выбранном диапазоне изменения технологических параметров показали, что стойкость ступенчатого инструмента заметно лучше, чем традиционного спирального. Это можно видеть из рис. 1, где представлены кривые износа в зависимости от числа просверленных отверстий. При этом значение осевой силы, как и следовало ожидать, для спирального сверла растет более интенсивно, чем для ступенчатого сверла.

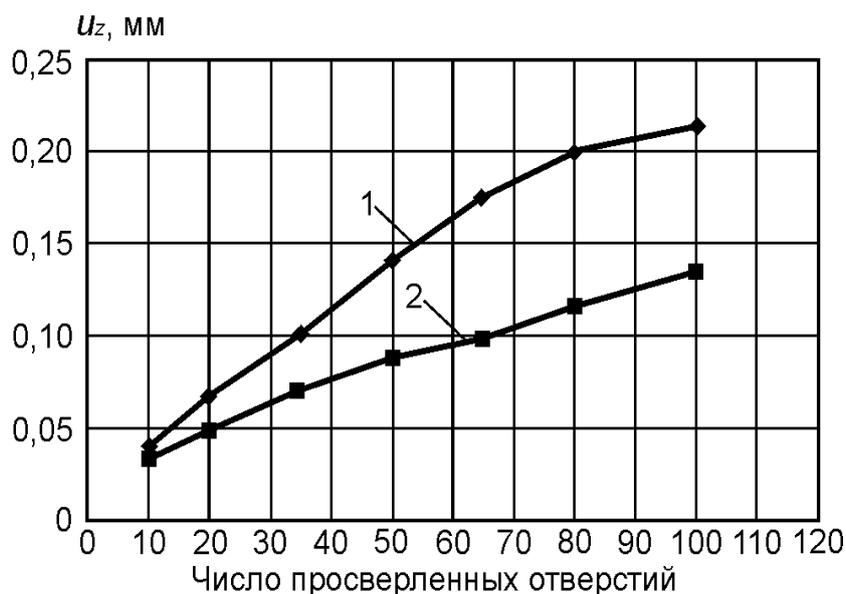


Рис. 1 – Зависимость величины износа по задней поверхности сверл в зависимости от числа просверленных отверстий [2]: 1 – стандартное спиральное сверло; 2 – ступенчатое сверло

Выводы. Из теории и практики сверления композитов известно, что с увеличением подачи растет осевая сила и это приводит к интенсификации расслоения на входе и выходе инструмента и росту шероховатости. Это явление характерно практически для всех видов сверл, в том числе и для сверл специальной конфигурации. Лучшее качество поверхности получается при сверлении твердосплавным сверлом практически для всех сочетаний подачи и частоты вращения шпинделя. Величина шероховатости независимо от типа и формы армирования, типа связующего, метода укладки и изготовления композита для

выбранного инструмента, зависит, прежде всего, от сочетания величины подачи и частоты вращения шпинделя.

Величина разрушения вокруг отверстия возрастает с ростом осевой силы и имеет тенденцию к сглаживанию при значительном увеличении осевой силы. Величина дефектов возрастает с увеличением диаметра отверстия и можно предположить, что несоответствие диаметров будет расти более быстро с его увеличением. Высокая скорость и малая подача дают наилучшее сочетание для эффективной обработки внутри выбранного интервала изменения параметров.

Специальная геометрия сверл позволяет улучшить качество производимых отверстий. Многогранное сверло позволяет сверлить отверстия лучше других. Специальная серповидная форма режущих краев позволяет предварительно деформировать волокна в направлении растяжения и отделяет их в осевом направлении, что образует чистый срез и гладкую поверхность. Многогранное сверло дает также меньшее расслаивание и производит лучшую финишную поверхность (3-5 мкм) для низких подач, по сравнению со спиральным сверлом. С увеличением скорости резания значительно уменьшается осевая сила, однако просверленное отверстие обладает повышенной шероховатостью и только незначительным отличием фактора расслаивания, что можно объяснить действием высокой температуры сверления.

Работа выполнена по проекту М2133Ф Министерства образования и науки Украины.

Список литературы: 1. *Davim P.J.* Study of delamination in drilling fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments / *P.J. Davim, P. Reis* // *Computer Structure*. – 2003 – 59. – P. 481–487. 2. *Tsao C.C.* Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material / *C.C. Tsao, H. Hocheng* // *Int. J of Machine tools and Manufacture*. – 2004. – 44. – P. 1085–1090. 3. *Hocheng H.* Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits / *H. Hocheng, C.C. Tsao* // *J of Mat. Proc. Tech.* – 2004 – 140. – P. 335–339. 4. *Drilling of composite structures* / *F. Lachaud, R. Piquet, F. Collombet, L. Surcin* // *Composite Structures*. – 2001. – V.52. – P. 511–516. 5. *Ho-Cheng H.* On drilling characteristics of fiber-reinforced thermosets and thermoplastics / *H. Ho-Cheng, H.Y. Puw* // *Int. J. of Mach. Tool and Manufacture*. – 1992. – 32, N4 – P. 583–592. 6. *Bhattacharya D.* A study of hole drilling in Kevlar Composites / *D.A. Bhattacharya, D.P.W. Horrigan* // *Comp. Sci. & Tech.* – 1998. – 58. – P. 267–283. 7. *Dillio A.* Cutting mechanism in drilling of aramide composites / *A. Dillio, V. Tagliaferri, F. Veniali* // *Int J of Mach. Tool & Manuf.* 1991. – 31, N2 – P. 155–165. 8. *Tsao C.C.* Effect of exit back-up on delamination in drilling composite materials using saw drill and core drill / *C.C. Tsao, H. Hocheng* // *Int. J of Mach. Tools & Manuf.* – 2005. – 45. – P. 1261–1270. 9. *Tsao C.C.* Computerized tomography and C-Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills / *C.C. Tsao, H. Hocheng* // *Int. J of Machine Tools & Manufacture*. – 2005. – 45. – P. 1282–1287. 10. *Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills* / *R. Piquet, B. Ferret, F. Lachaud, P. Swider* // *Composites Part A: Appl. Sci. Manufact.* – 2003. – 31, N10. – P. 1107–1115. 11. *Faraz A.* Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates / *A. Faraz, D. Biermann, K. Weinert* // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2009. – 49. – P. 1185–1196. 12. *Effect of tool geometry in drilling of aerospace materials* / *N.V. Kumar, G.G. Nathan, Dr.V. Krishnaraj, G. Sasicharan* // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2013. – V.4, N8. – P. 733–744.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Кленов О.С., канд. техн. наук

(Фирма «ДиМерус Инженеринг», г. Харьков, Украина)

Приведены результаты расчета суммарных затрат на операции точения при использовании традиционных инструментов, применяемых на предприятии, и инструментов фирмы Tungaloy. Показана эффективность использования сборных твердосплавных режущих инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства

Ключевые слова: механическая обработка, операция точения, твердосплавные режущие инструменты, суммарные затраты, трудоемкость обработки

Наведено результати розрахунку сумарних витрат на операції точіння при використанні традиційних інструментів, що застосовуються на підприємстві, та інструментів фірми Tungaloy. Показана ефективність використання збірних твердосплавних ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями зарубіжного виробництва

Ключові слова: механічна обробка, операція точіння, твердосплавні ріжучі інструменти, сумарні витрати, трудомісткість обробки

The results of the calculation of the total cost of turning operations using the traditional tools used in the company, and the company Tungaloy tools. The efficiency of using prefabricated carbide cutting tools with wear-resistant coatings of foreign production

Keywords: machining, turning operation, carbide cutting tools, the total cost, the complexity of processing

В последние годы на промышленных предприятиях Украины все шире используются сборные твердосплавные режущие инструменты с износостойкими покрытиями зарубежного производства (рисунок), которые позволяют повысить стойкость и снизить расходы на инструмент, а самое главное – повысить производительность и снизить трудоемкость обработки. Снижение трудоемкости – это доминирующая составляющая в получении экономии, увеличении объема выпуска продукции и увеличении прибыли существующими ресурсами [1–3]. Чтобы убедиться в вышесказанном, в настоящей работе произведены расчеты экономической эффективности от применения прогрессивных сборных твердосплавных режущих инструментов с износостойкими покрытиями фирмы *Tungaloy* (Япония) на операции точения деталей из стали 18ХГТ.

Суммарные затраты на выполнение операции определяются зависимостью: $\sum Z_{on} = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/n} + P_{расх}$, где $Z_{инстр}$ – затраты на инструмент; $Z_{оборуд}$ – затраты на оборудование; $Z_{з/n}$ – затраты на заработную плату рабочего (трудоzатраты); $P_{расх}$ – прочие расходы (дополнительные накладные расходы без учета расходов на оборудование и инструмент). В табл. 7 и в промежуточных табл. 1–6 приведены результаты расчета суммарных затрат на операции точения при использовании традиционных инструментов, применяемых на предприятии, и инструментов фирмы *Tungaloy*.



Рисунок – Инструменты фирмы *Tungaloy* (Япония)

Таблица 1

Исходные данные для расчета суммарных затрат на операции точения

Сравниваемые показатели	Единица измерения	Вариант 1 (базовый)	Вариант 3
		Предприятие	Tungaloy
Обрабатываемый материал		Сталь 18ХГТ	
Диаметр детали (максимальный) D_{max}	мм	55	55
Диаметр детали (минимальный) D_{min}	мм	25	25
Скорость резания V	м/мин	431,8	431,8
Обороты шпинделя n	об./мин	2 500	2 500
Количество зубьев, z	шт.	1	1
Подача на зуб S_z	мм/зуб	0,25	0,25
Подача на оборот S_o	мм/об.	0,25	0,25
Величина подачи $S_{мин}$	мм/мин	625	625
Глубина резания t	мм	3	3
Количество проходов	шт.	1	1
Суммарное линейное перемещение инструмента на рабочей подаче при обработке одной детали $\sum L=(L_{вх} + L_{раб} + L_{вых})$	мм	60	60
Количество проходов	шт.	1	1
<i>Результат</i>			
Машинное время обработки $T_{маш}$	мин	0,46	0,46
Время на смену детали $T_{дет}$	мин	0,17	0,17
Время на смену инструмента $T_{инстр}$ фактическое	мин	0,664	0,664
Время на смену инструмента $T_{инстр}$ расчётное	мин	0,664	0,664
Трудоёмкость операции $T=(T_{маш}+T_{дет}+T_{инстр} расч)/60$	час	0,022	0,022
Стойкость инструмента q	дет.	322	480

Таблица 2

Расчет затрат на инструмент на 1 операцию (на 1 деталь)

Сравниваемые показатели	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2
		А	В
Изготовитель		Предприятие	Tungaloy
Вид инструмента		Резец	Резец
Тип инструмента (напайной, монолитный, сборный)		Сборный	Сборный
Обозначение инструмента			
Стоимость напайного или монолитного инструмента	грн		
Стоимость корпуса сборного инструмента (резца, фрезы, сверла)	грн	410	375
Ресурс корпуса инструмента (кол-во циклов замены кромок)	шт.	400	400
Обозначение пластины		WNMG 080408 PC	WNMG 080408 TM
Стоимость пластины	грн	51,52	63,36
Материал режущей части		TT8125	T9125
Кол-во пластин в инструменте	шт.	1	1

Кол-во режущих кромок в пластине	шт.	6	6
Кол-во переточек инструмента (для напайного и монокристаллического)	шт.		
Ресурс инструмента после переточки	%		
Восстановление износостойкого покрытия	грн		
Стоимость переточки (как услуги)	грн		
Затраты на переточку в условиях потребителя ($A13 = A14 \cdot (A15/60 + A16 \cdot A17/60) + A18/A19$), в т.ч.:	грн		
- стоимость станко-часа заточного оборудования	грн/час		
- время на наладку переточки партии инструментов	мин		
` - время на переточку 1 инструмента	мин		
` - кол-во инструментов в партии	шт.		
` - стоимость алмазных кругов	грн		
` - ресурс алмазных кругов (кол-во переточек)	шт.		
Расходы на 1 инструмент ($A20 = A1 + A9 \cdot A13$)	грн		
Приведённые расходы на 1 инструмент (на 1 пластину): $B20 = B5 + B2 \cdot B8/B3$	грн	57,67	68,985
Стоимость одной режущей кромки ($A21 = A20/(1 + A9)$)	грн		
Стоимость одной режущей кромки ($B21 = B20/B8$)	грн	9,61	11,50
Стойкость инструмента	дет.	322	480
Кол-во деталей, обработанных одним инструментом ($A23 = (1 + A9) \cdot A21$)	дет.		
Кол-во деталей, обработанных 1 пластиной (1 комплектом) ($B23 = B8 \cdot B21$)	дет.	1932	2880
Относительные расходы на инструмент на 1 операцию (1 деталь) $A24 = A21/A22$ $B24 = B21/B22$	грн		
	грн	0,03	0,02
Затраты на дополнительную оснастку (патроны, цанги, переходники, оправки)	грн		
Ресурс дополнительной оснастки	лет	3	3
Расчётный фонд работы оборудования в год ($8 \cdot 2 \cdot 250$)	час	8640	8640
Время обработки детали (трудоемкость операции) T	час	0,025	0,006
Максимальное кол-во деталей, обработанных в ресурсный срок дополнительной оснастки $B29 = B27 \cdot B26/B28$	шт.	1296000	2592000
Затраты на дополнительную оснастку на 1 деталь ($B30 = B25/B29$)	грн		
Относительные расходы на инструмент и дополнительную оснастку на 1 операцию (1 деталь) $B31 = B24 + B30$	грн	0,03	0,02
Минимальная партия поставки пластин	шт.	10	10
Затраты на приобретение 1 комплекта инструмента ($B33 = B2 + B34$)	грн	925,2	1008,6
Затраты на приобретение 1 комплекта пластин (10 шт.): $B34 = B5 \cdot B32$	грн	515,2	633,6
Количество деталей, обработанных одним комплектом поставляемых пластин (10 шт.): $B35 = B23 \cdot B32$	шт.	19320	28800

Таблица 3

Расчет затрат на оборудование $Z_{оборуд}$ на 1 операцию (на 1 деталь)

			А	В	С
				%	грн
	Затраты на содержание оборудования (в год) Z_{co}				
1	Стоимость оборудования со станочными приспособлениями	грн.			650000
2	Период амортизации (срок окупаемости) ($B3=100/A2$)	лет	10		
3	Амортизационные отчисления ($C3=C1 \cdot B3/100$)			10,0	65000
4	Выплаты по кредиту ($C4=C1 \cdot B4/100$)				0
5	Площадь под оборудование	м ²	7		
6	Стоимость аренды 1м ² площади в месяц	грн.			
7	Арендная плата за производственные площади ($C7=12 \cdot A5 \cdot A6$)	грн.			0
8	Расчётный фонд работы оборудования в год ($C8=8 \cdot 250 \cdot 3$)	час	8640		
9	Затраты на содержание оборудования (в год) Z_{co} ($C9=C3+C4+C7$)	грн.			65000
10	Стоимость станко-часа содержания оборудования $C_{с-ч co}$ ($C10=C9/A8$)	грн/час			7,523
	Затраты при эксплуатации оборудования (в год) $Z_{эо}$				
11	Кол-во рабочих часов в смену		8		
12	Кол-во рабочих дней за год		360		
13	Число смен		3		
14	Коэффициент использования оборудования		0,95		
15	Время эксплуатации оборудования в год ($A15=A11 \cdot A12 \cdot A13 \cdot A14$)	час	8208		
16	Потребляемая мощность станка	кВт	20		
17	Стоимость 1 кВт/часа электроэнергии	грн.	0,65		
18	Расходы на электроэнергию ($C18=A15 \cdot A16 \cdot A17$)	грн.			106704
19	Затраты на ремонт оборудования ($C19=C1 \cdot B19/100 \cdot A15/A8$)	грн.		2	12350
20	Расходные материалы (масло, СОЖ и т.п.) ($C20=C1 \cdot B20/100 \cdot A15/A8$)	грн.		1	6175
21	Затраты при эксплуатации оборудования (в год) $Z_{эо}$ ($C21=C18+C19+C20$)	грн.			125229
22	Стоимость станко-часа эксплуатации оборудования $C_{с-ч эо}$ ($C22=C21/A15$)	грн/час			15,26
23	Стоимость станко-часа $C_{с-ч}$ ($C23=C10+C22$)	грн/час			22,78
24	Время обработки детали (трудоемкость операции), T	час	0,022		Вариант 1- предприятие
		час	0,022		Вариант 2 - Tungaloy
25	Затраты на оборудование на 1 операцию (на 1 деталь) ($C25=C23 \cdot A24=T \cdot C_{с-ч}$)	грн			Вариант 1 – предприятие 0,49
		грн			Вариант 2 - Tungaloy 0,49

Таблица 4

Расчет трудозатрат $Z_{з/н}$ на 1 деталь (на 1 операцию)

Статьи расходов на зарплату	Обозначение	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (<i>Tungaloy</i>)
Трудоемкость операции	T	час	0,022	0,022
Тарифная ставка рабочего	p	грн/час	12,183	12,183
Коэффициент повышения зарплаты рабочего за применение прогрессивного инструмента	$K1$		0	0
Основная зарплата рабочего ($Z_{осн} = T \cdot p \cdot K1$)	$Z_{осн}$	грн	0,27	0,22
Дополнительная зарплата рабочего ($Z_{дон} = K2 \cdot Z_{осн} / 100$)	$K2$	%	50	50
	$Z_{дон}$	грн	0,14	0,11
Отчисления на соц. страхование ($O_{с/с} = K3 \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}) / 100$)	$K3$	%	37	37
	$O_{с/с}$	грн	0,15	0,12
Затраты на зарплату в расчете на 1 деталь (на 1 операцию) ($Z_{з/н} = Z_{осн} + Z_{дон} + O_{с/с} = T \cdot p \cdot K1 \cdot [1 + K2/100 + K3/100 \cdot (1 + K2/100)]$)	$Z_{з/н}$	грн	0,55	0,45

Таблица 5

Расчет прочих расходов на 1 деталь (на 1 операцию) $P_{расх}$

Коэффициент повышения зарплаты рабочего за счет снижения трудоемкости $K1 = 1,1 \cdot (T1/T2)$								
T1/T2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
K1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5

Таблица 6

Сравниваемые показатели	Обозначение	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (<i>Tungaloy</i>)
Затраты на зарплату	$Z_{з/н}$	грн	0,27	0,22
Процент накладных расходов	$K4$	%	100	100
Величина прочих расходов (без учета расходов на оборудование и инструмент) ($P_{расх} = Z_{з/н} \cdot K4 / 100$)	$P_{расх}$	грн	0,27	0,22

Как видно, применение инструментов фирмы *Tungaloy* позволяет в 1,49 раз увеличить стойкость инструмента и в 1,25 раз уменьшить затраты на инструмент, а также в 1,22 раза уменьшить затраты на заработную плату рабочего в расчете на 1 деталь. В конечном итоге это привело к уменьшению суммарных затрат в 1,13 раз (табл. 8), что составило 0,16 грн экономии затрат на 1 деталь.

Таблица 7

Расчет суммарных затрат на выполнение операции точения

$$\sum Z_{on} = Z_{инстр} + Z_{оборуд} + Z_{з/н} + P_{расх}$$

Статьи расходов (показатели) (на 1 деталь, операцию, переход)	Единица измер.	Вариант		Доля статей расходов, %	
		1 (базовый) Предпр.	2 Tungaloy	Предпр.	Tungaloy
Трудоёмкость обработки T	час	0,025	0,022		
Затраты на инструмент $Z_{инстр}$	грн.	0,030	0,024	2,22	2,017370641
Затраты на оборудование $Z_{оборуд}$	грн.	0,49	0,49	36,50	41,37728839
Затраты на зарплату $Z_{з/н}$ (трудоzатраты)	грн.	0,55	0,45	41,22	38,07658779
Прочие расходы $P_{расх}$ (дополнительные накладные расходы без учета расходов на оборудование и инструмент)	грн.	0,27	0,22	20,06	18,52875318
Суммарные затраты $\sum Z_{on}$	грн.	1,35	1,19	100	100
Экономия затрат на 1 деталь	грн.		0,16	или	11,79
Стоимость 1 комплекта инструмента	грн.		1008,6		
Затраты на приобретение 1 комплекта пластин	грн.		633,6		

Таблица 8

Эффективность применения инструментов фирмы *Tungaloy* при обработке детали “вал–шестерня ведущая” при программе $N=2500000$ дет./год

Сокращение затрат	в 1,13 раза	396617 грн/год
Сокращение трудоемкости T	в 1,16 раз	8583 н/ч в год
Окупаемость минимальных затрат 1 комплекта инструмента (1 комплект =1 корпус +10 пластин)	6358	деталей
Окупаемость 2-го и последующих комплектов пластин (10 пластин)	3994	деталей
Количество деталей, обработанных одним комплектом поставляемых пластин (10 пластин)	28800	деталей

Следовательно, переход на обработку деталей из стали 18ХГТ сборными режущими твердосплавными инструментами с износостойкими покрытиями фирмы *Tungaloy* является экономически целесообразным, т.к. обеспечивает уменьшение трудоемкости и повышение производительности обработки при заданном качестве обрабатываемых поверхностей деталей.

Список литературы: 1. Кленов О.С. Повышение производительности и качества механической обработки на основе применения прогрессивных режущих инструментов / О.С. Кленов, Ф.В. Новиков, А.Г. Крюк // Вісник НТУ “ХП”. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ “ХП”. – 2013. – № 42 (1015). – С. 90-95. 2. Кленов О.С. Опыт применения прогрессивных конструкций режущих лезвийных инструментов / О.С. Кленов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: Тези доповідей ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції, Ч.І (15-17 жовтня 2014 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. – Харків, НТУ “ХП”. – С. 121. 3. Новиков Ф.В. Повышение производительности и качества механической обработки сборными режущими инструментами с износостойкими покрытиями / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф., 22-24 сентября 2014 г., г. Одесса. – Киев: АТМ Украины, 2014. – С. 110-113.

ТЕХНОЛОГИЯ И ЕЕ ПРЕДМЕТ

Гусарев В.С., канд. техн. наук, доц.

(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

В статье рассматривается содержание понятия технология. Дается структурное представление предмета на примере (subtraction - вычитаемая) обрабатывающей технологии. Приведены пояснения относительно использования технологии в различных сферах применения.

Ключевые слова: *обрабатывающая технология, технологический объект, операция, технологический процесс, маршрут*

У статті розглядається зміст поняття технологія. Дається структурне уявлення предмета на прикладі (subtraction - віднімається) обробної технології. Наведено пояснення щодо використання технології в різних сферах застосування.

Ключові слова: *обробна технологія, технологічний об'єкт, операція, технологічний процес, маршрут*

The article deals with the content of the concept of technology. We give a structural representation of the object as an example (subtraction - deductible) manufacturing technology. Explanations regarding the use of technology in various fields of application.

Keywords: *manufacturing technology, technological object, operation, process, route*

Технология, что это?

Это слово преследует нас в повседневной жизни на каждом шагу, его стали приклеивать к чему угодно и как угодно. Это модный бренд и, главное, очень «понятный» всем, и как по-научному звучит! ТЕХНОЛОГИЯ! Например, мудро выглядит фраза в обиходе воспитателя детского сада: «Технология красивого написания букв», раньше бы сказали – *каллиграфия*. «Технология правильного говорения» – *риторика*, это уж для школы. Какой только нет этой самой технологии: «технология питания, воспитания, образования и т.п., технология растениеводства, когда-то была агрономия, теперь медицинская технология, а не врачевание, технология дизайна, а не архитектура, бывают и технологии искусства и культуры, социологии и политологии. Больше всех технологий преуспела наплодить самая старая, ну не древняя, а старая наука, для которой и был придуман термин (слово) технология. Это, конечно, машиностроение – учение о построения машин или иначе технология машиностроения. Назвали и назвали, но нет. Этого оказалось мало. Появились «Основы технологии ...», далее «Научные основы технологии ...», но и это оказалось недостаточным, «Теоретические основы технологии машиностроения». А как звучит! Это как будто не одно и то же, разве наука может существовать без теории, как и без практики, которой она обязана и проверяется?! А что такое «Основы технологии»? Основа – это базис, основание, фундамент. Чего фундамент: технологии или машиностроения? Что нам вещает Интернет, с мощью поисковиков, словарей, энциклопедий, и вездесущей Википедии?

«Технология (от др.-греч. τέχνη – искусство, мастерство, умение; λόγος – «слово», «мысль», «смысл», «понятие») – совокупность методов и инструментов для достижения желаемого результата; в широком смысле – применение научного знания для решения практических задач.

Технология (англ. technology) является сравнительно новым(?), многогранным (!) термином, точное определение которого ускользает из-за постоянно размывания смысла этого понятия, как самого по себе, так и взятого в отношениях с другими, такими же широкими понятиями: культура, религия, природа, общество, политика, экономика. К началу XX века термин «технология» охватывал совокупность средств, процессов и идей в дополнение к инструментам и машинам. К середине XX столетия технология обогатилась такими понятиями, как кибернетические технологии (деятельность) и информационные технологии (средства), с помощью которых человек вроде бы изменяет (!) свою среду обитания. Вот как. Если вернуться к исходному понятию, то именно в нем заложено понимание и применение в современном общественном сознании термина технология. Это ремесло, может быть в лучшем случае, искусство, но явно продукт массового производства для массового потребления. Как быть со второй частью определения, в котором заключено научное знание: «мысль, смысл, понятие»? В чем заключено понятие «Научные основы технологии»? Что объединяет разные сферы применения технологии? Что общее в этих технологиях?

1. Технология

Любая технология содержит набор операционных действий, иногда называемыми просто операциями или даже короче опциями. Эти операции имеют разное содержание в зависимости от сферы применения. Но в общем виде представляют собой матрицу с особыми свойствами операций:

$$|N(ij)| = \begin{matrix} i=1, 2, \dots, m; \\ j=A_i, B_i, \dots, C_i, \dots, K_i \end{matrix} \begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & \dots & K_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_i & B_i & C_i & \dots & K_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & B_m & C_m & \dots & K_m \end{vmatrix}$$

Особые свойства операций в матрице заключаются в том, что операции, записанные в строке, являются взаимно независимыми, могут переставляться без нарушения результата, а операции, записанные в столбце, являются взаимно зависимыми и их перестановка запрещена, так как приводит к отрицательному результату, или проще - ее выполнить физически невозможно. Можно указать на существование двух основных законов технологии.

Первый закон: Независимые операции коммутативны, перестановка разрешена

$$A_i \rightarrow B_i = B_i \rightarrow A_i$$

Этот закон допускает независимость операционных действий.

Второй закон: Зависимые операции не коммутативны, перестановка запрещена.

$$A_i \rightarrow A_{(i+1)} \neq A_{(i+1)} \rightarrow A_i,$$

Этот закон не допускает выполнение зависимых операционных действий.

Естественно, здесь носителем операционного действия является технологическая операция (ТОП). Соответственно ТОП могут реализоваться инструментальными (техническими) средствами, а иногда обходиться без них. В первом случае это машинные (производственные) технологии, с тем или другим участием человека; другие технологии, гуманитарного свойства, обычно обходятся без инструментальных средств, или используют их как вспомогательный элемент в операционном действии. Число технологических операций (ТОП) может быть большим и малым, но всегда конечным. Это объясняется дискретностью объекта, на которое направлено операционное действие и конечностью «жизненного цикла» объекта.

Упорядочение массива ТОП связано с организацией операционных процедур, соответствующих законам технологии, которые в разных сферах человеческой деятельности носят разные имена: дорожная (маршрутная) карта, алгоритм функционирования (преобразования), технологический процесс и т.п.

Сосредоточим свое рассмотрение на процессе механической технологии, которая хорошо известна как (subtraction - вычитаемая) обрабатывающая и (addetivction - слагаемая) монтажная. Рассмотрим объект и некоторые принципы механической технологии.

2. Технологический объект (ТО)

Технологический объект - материальное тело, модель которого для удобства дальнейшего рассмотрения, будем представлять массивом обрабатываемых элементов-поверхностей. Сложный ТО (деталь) состоит из нескольких элементов-поверхностей: $a_i, b_i, c_i, \dots, k_i = |n_i|$

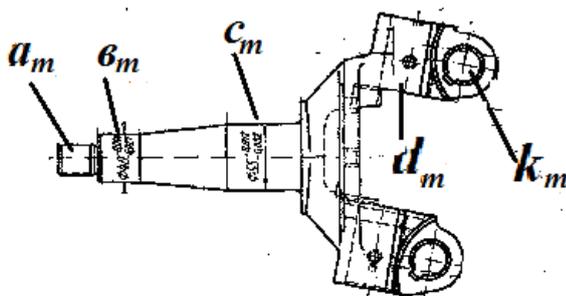


Рис. 1 – Деталь

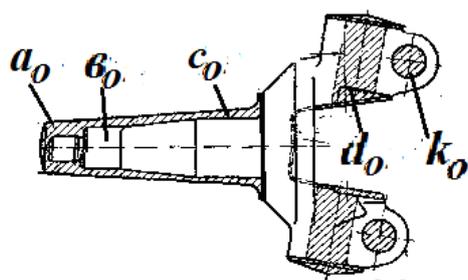


Рис. 2 – Заготовка

Можно фиксировать набор элементов ТО, определяющий его конечное состояние. Обычно такое состояние задается конструктором, индекс должен

указывать параметр, соответствующий требуемому свойству ТО ($i = m$):

$$a_m, b_m, c_m, \dots, k_m = |n_m|$$

Начальный набор свойств элементов ТО, которые должны определять свойства исходного материала или (заготовки).

$$a_0, b_0, c_0, \dots, k_0 = |n_0|$$

Процедура, которая переводит ТО с начальными свойствами элементов в ТО с конечными, и есть операционное действие, т.е. ТОП обработки. Она представляет собой воздействие некоторого материального средства на технический объект, превращая заготовку в обработанную деталь.

3. Технологическая операция (ТОП)

Операционное действие на ТО, изменяющее тем самым его свойства, будет называться технологическим (рабочим) оператором (ТОП).

$$A_1 : a_0 \rightarrow a_1,$$

$$A_i : a_{(i-1)} \rightarrow a_i,$$

$$A_m : a_{(m-1)} \rightarrow a_m,$$

Можно считать, что

$$|A_i| : |a_{(i-1)}| \rightarrow |a_i|,$$

$$i = 1, 2, \dots, m,$$

Примером операционных действий может выступать любой набор последовательных операций, отнесенных к определенному элементу-поверхности детали. В результате этого происходит последовательное приближение параметра элемента к заданному, что определяет

ПРИНЦИП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УТОЧНЕНИЯ (1)

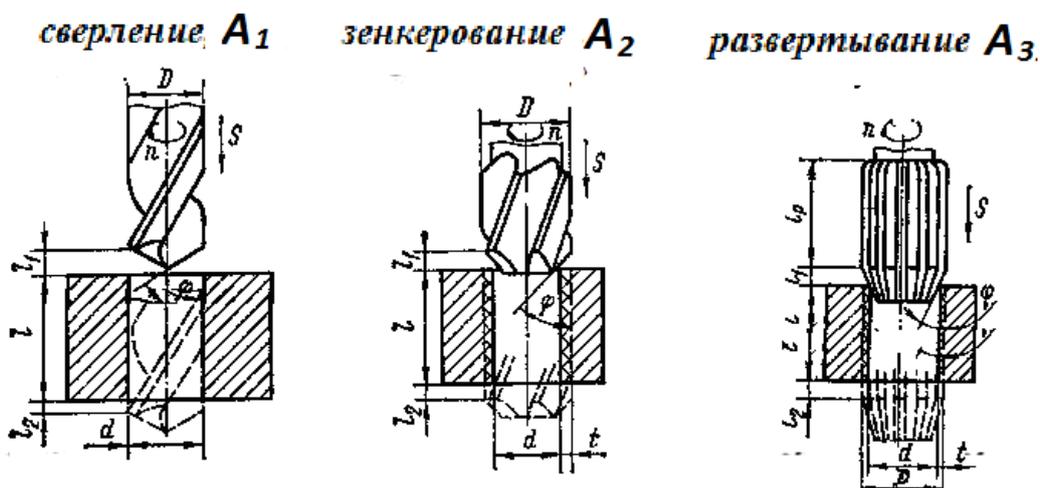


Рис. 4 – Последовательность одноименных операций

Обработка детали в технологической системе (по А. П. Соколовскому) проходит в несколько этапов. Каждый этап обработки формирует элементы-поверхности с новыми характеристиками (уточнениями).

$$A_1 : a_0 \rightarrow a_1,$$

$$A_2 : a_1 \rightarrow a_2,$$

$$A_3 : a_2 \rightarrow a_3.$$

Первый этап – соответствует «черновой» обработке, элементы-поверхности детали приобретают качества IT 14...12. Второй этап – «полу-

чистовая» обработка – качества IT 12...10, третий – «чистовая» обработка - качества IT 10...8, четвертый – «финишная» обработка - качества IT 8...6. Весьма редко по процессу необходимо выполнить «суперфинишные» операции - IT 6...4 – это пятый этап.

Таким образом, получают технологические объекты (ТО), состоящие из расширенного набора (мультимножества) элементов-поверхностей:

$$|n(ij)| \ll |N(ij)|$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m$ – этапы обработки, $j = a, b, c, \dots, k$ – элементы ТО.

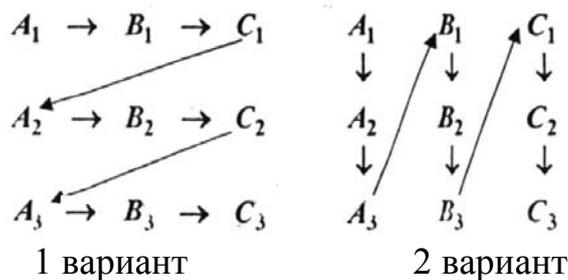
Эти технологические объекты образуются в процессе поэтапной обработки, в результате этого ТО приобретают новые свойства (качества):

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \dots & k_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_i & b_i & c_i & \dots & k_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & b_m & c_m & \dots & k_m \end{vmatrix} \ll \begin{vmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & \dots & K_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_i & B_i & C_i & \dots & K_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & B_m & C_m & \dots & K_m \end{vmatrix}$$

4. Технологический процесс (ТП) и маршрут (ТМ)

Конечное множество элементов ТО определяет необходимый массив операций, но не маршрут, по которому разворачивается возможный, допустимый или рациональный вариант технологического процесса, т.е. преобразование заготовки в деталь.

Классическая технология рассматривает не всякое упорядочение операций. В технологической практике, где идея массового производства проникает в серийное, и наоборот, каждый вариант проверяют на допустимость. Допустимые варианты отбираются из числа возможных на основе вводных (налагаемых) ограничений. В ряде случаев эти ограничения определяются наличным оборудованием, иногда – это «консервативный» опыт предприятия, его формула: «У нас так не делают»! Наиболее часто применяемые, как допустимые, следующие варианты:



Первый вариант означает для технолога маршрут, в котором максимальная нагрузка приходится на первые три ТОП (A_1, B_1, C_1) – черновая обработка, следовательно, максимальный съем металла, деформация и выделение тепла; следующие три ТОП (A_2, B_2, C_2) – получистовая обработка, уменьшение деформации и погрешности; наконец, на трех последних ТОП (A_3, B_3, C_3) – чистовая отделка элементов-поверхностей. Объяснение этого ТМ можно найти в любой книжке по технологии машиностроения. При зримых достоинствах такой модели ТМ, он имеет существенные недостатки, требует много перемещений и изменения ориентации ТО в процессе. Теоретически возможен и такой вариант - переход вдоль столбца от первого оператора к последнему, затем переход к оператору следующего столбца.

Второй вариант предусматривает обработку отдельно каждой поверхности ТО по этапам процесса (A_1, A_2, A_3), затем (B_1, B_2, B_3) и далее (C_1, C_2, C_3). Такой ТМ имеет наименьшие погрешности, в связи с малым числом переустановок деталей в приспособлениях. Он обычно рекомендуется при обработке отверстий в корпусных деталях на «обрабатывающих центрах» и многооперационных станках, а так же и в гибких системах.

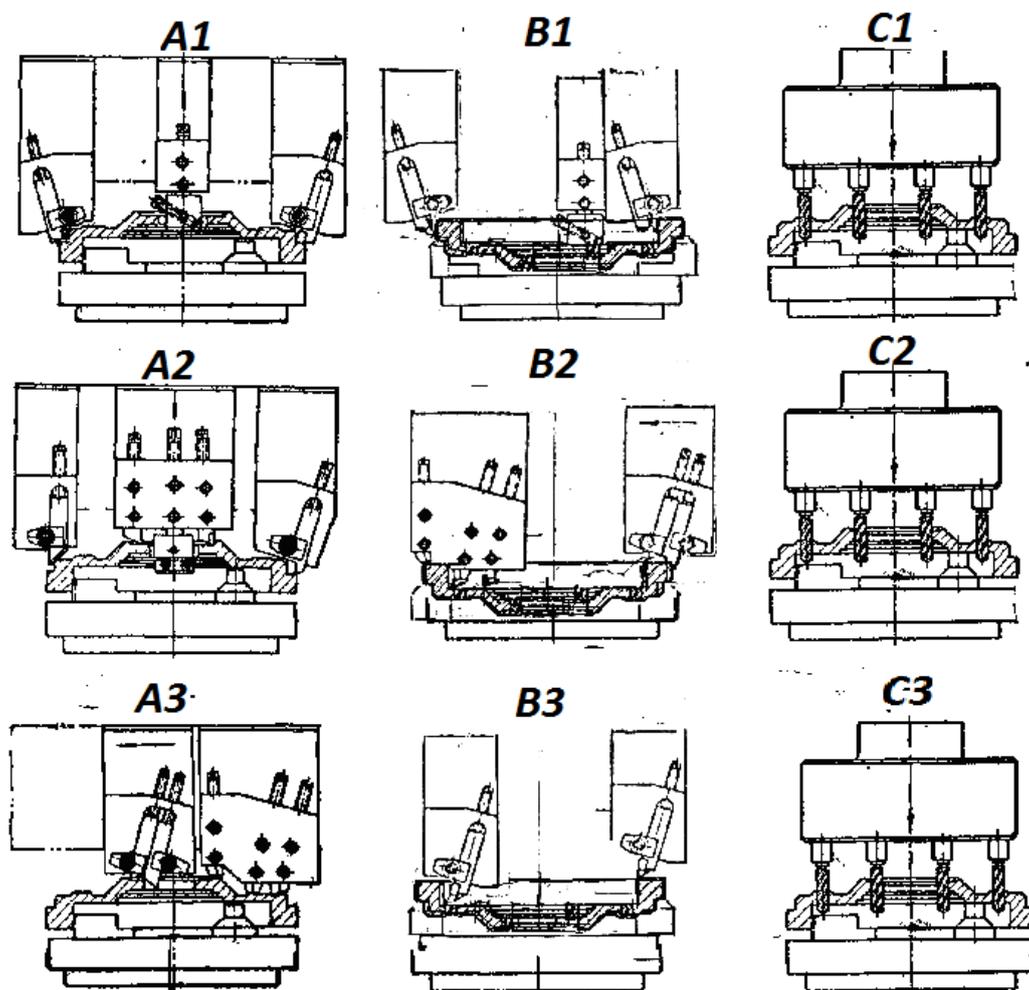


Рис. 5 – Наладка на многопозиционный станок-центр

Существуют и другие варианты технологического процесса. Обратим внимание на формальную особенность этих маршрутов: начало маршрута – операция A_1 и конец – операция C_3 . (Типичный переход из «северо-западного» угла в «юго-восточный» в теории графов).

Эти примеры не исчерпывают все возможные варианты ТМ, которые можно составить на массиве (матрице) приведенных ТОП. Число возможных вариантов рассчитывается по общей формуле:

$$M = \frac{(ij - 2)!}{(i_1 - 1)! i_2! i_3! \dots (i_{j-1})! (i_j - 1)!}$$

Для выше рассмотренного массива их число составит:

$$M = \frac{(3 \times 3 - 2)!}{(3 - 1)! 3! (3 - 1)!} = 210$$

Выбор и обоснование технологического маршрута является важным методическим приемом в работе технолога. Он содержит

ПРИНЦИП ФИЗИЧЕСКОЙ ОСУЩЕСТВИМОСТИ (2)

От него зависит решение о выборе того или другого физического метода обработки и необходимого энергоэкономичного оборудования. Не углубляясь в суть проблемы, можно указать на условия получения достаточно экономного вектора развития промышленной технологии:

- матрица должна содержать компоненты минимальной энергоемкости, а алгоритм – минимальное число операционных шагов.

В данной статье не стоит задача исследовать матрицу и тем более алгоритм, применяемый в производственных технологиях. Разобранный пример демонстрирует лишь обязательное наличие в технологии этих двух компонентов: матрицы и алгоритма.

Правомерность утверждения о том, что технология, как метод, может (некоторые утверждают – должна) применяться или, по крайней мере, присутствовать не только в технических сферах, а и в гуманитарных процессах требует дополнительного изучения. Наверное, лучшим, и всем хорошо известным, примером является образование.

«Мы все учились понемногу чему-нибудь и как-нибудь!» (А.С. Пушкин).

Технологическая матрица образования состоит из строк, в которых элементами (независимыми) являются изучаемые предметы, а столбцы содержат последовательные (зависимые) разделы каждого предмета. Алгоритм изучения возможен, например «классический»: изучение разных предметов, т.е. движение последовательно вдоль строки, потом вдоль следующей (см. первый вариант), после чего - экзамен. Может быть применен и вариант, к которому прибегают репетиторы, т.е. проходит индивидуальное обучение предмета от начала до конца в рамках программы (см. второй вариант). Этот пример показывает, что технология образования (процесс получения знаний) отвечает как первому условию существования матрицы, так и второму условию – алгоритм имеется, и это даже можно не обсуждать. Какой вывод следует, хотя, наверное, двух примеров из технической и гуманитарной сферы недостаточно? Претензии к неправоначальному использованию термина технология, который в последнее время стал модным, не имеют основания, а общие методы, заимствуемые из промышленных технологий актуальны. Теперь можно ответить на вопросы: В чем заключено понятие «Научные основы технологии»? Что объединяет разные сферы применения технологии? Что общее в этих технологиях?

Это матрица и алгоритм операционных действий.

Автор благодарит за участие и обсуждение статьи канд. техн. наук, доцента Надачина В.Б.

Список литературы: 1. *Гусарев В.С.* Модели. Алгоритмы и структура машин (в печати). – 2016. – 101 с.

РЕЗЦЫ С УПРУГОЙ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ВСТАВКОЙ В ДЕРЖАВКУ

Новиков С.Г., канд. техн. наук, доц.

(ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт», Курск)

(e-mail: novikov1950sergey@yandex.ru),

Малыхин В.В., канд. техн. наук, доц., **Яцун Е.И.**, канд. техн. наук, доц.

(ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск)

(e-mail: mtio@kurskstu.ru)

Предложен универсальный демпфирующий резец, позволяющий достичь технического результата по снижению трудоемкости монтажа резца.

Ключевые слова: резец с упругой демпфирующей вставкой, трудоемкость монтажа резца, вибрации в процессе резания, качество обработки

Запропоновано універсальний демпфуючий різець, що дозволяє досягти технічного результату щодо зниження трудомісткості монтажу різця.

Ключові слова: різець з пружною демпфуючою вставкою, трудомісткість монтажу різця, вібрації в процесі різання, якість обробки

The universal cutter damping, which allows to achieve a technical result to reduce the complexity of the tool assembly.

Keywords: cutter with an elastic damping insert, the complexity of the tool assembly, the vibration during the cutting process, the quality of treatment

Снижение уровня вибраций в процессе резания, в том числе связанного с ударными нагрузками, является наиважнейшей проблемой особенно с учетом возрастающих требований к качеству обработки. Одним из способов решения данной проблемы является совершенствование конструкций резцов с целью повышения устойчивости процесса резания. В частности, разрабатываются конструкции демпфирующих резцов.

Известен резец для чистовой обработки [1]. Недостатками являются: низкое качество обработки и надежности устойчивого процесса резания, а также сложность конструкции резца и высокая его материалоемкость. Нами разработана конструкция резца, устраняющая указанные недостатки (рис. 1).

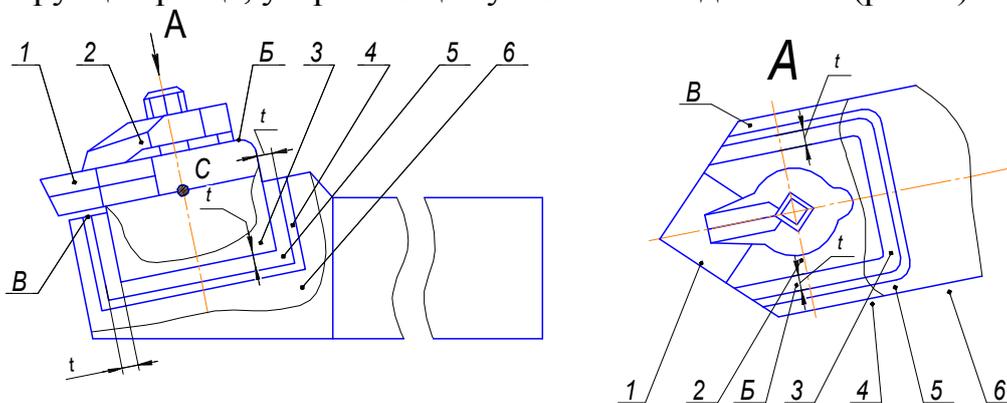


Рис. 1 – Резец с демпфирующей вставкой в державку

Режущая пластина 1 узлом ее крепления 2 жестко фиксирована на верхней поверхности Б металлической оправки 3, изготовленной в виде прямоугольного параллелепипеда и размещенной в тонкостенном контейнере 4 с равномерными зазорами t по его основанию и стенкам, при этом зазоры t заполнены вставкой 5 из материала с высоким демпфированием, а оправка 3 установлена выступающей над контейнером 4 без соприкосновения с ним режущей пластины 1 и узла ее крепления 2. В выборке, выполненной по форме контейнера 4 и ориентированной по нормали к верхней плоскости В переднего конца державки 6, неподвижно закреплен контейнер 4 с обеспечением отсутствия контактирования режущей пластины 1 и узла ее крепления 2 на оправке 3 с державкой 6 и с возможностью обработки режущей пластиной 1 материала изделия. В зависимости от вида выполняемой технологической операции жесткое фиксирование режущей пластины 1 соответствующей формы на верхней поверхности Б металлической оправки 3 может быть осуществлено узлом крепления 2 любой конструкции, в том числе и специальными режцовыми вставками.

Процесс резания обрабатываемого материала универсальным демпфирующим резцом осуществляют следующим образом. При обработке режущей пластиной 1 материала изделия возникает сила резания \bar{P} .

Воспользуемся теоремой о параллельном переносе силы. Силу резания, не изменяя оказываемого действия, перенесем параллельно ей самой в любую точку оправки 3, прибавляя при этом пару с моментом, равным моменту переносимой силы относительно точки, куда сила переносится. За точку переноса выбрана точка «С» на оси крепления режущей пластины к державке. Тогда на оправку 3 действуют активные сила резания $\bar{P} = \bar{P}'$ и изгибающий момент $M_u = P \cdot l$, где l – расстояние от вершины резца до точки переноса «С» между силами \bar{P} и \bar{P}' .

Вставка 5 из материала с высоким демпфированием воздействует на оправку 3 восстанавливающей силой \bar{F}_g , силой сопротивления \bar{F}_c и моментом сопротивления M_c , причем силы \bar{F}_g и \bar{F}_c вставки 5 направлены по одной прямой в противоположную сторону от силы резания \bar{P}' , а момент сопротивления M_c противоположен изгибающему моменту M_u . Восстанавливающая сила пропорциональна величине линейного перемещения оправки 3, $F_g = c \cdot \Delta$, где c – жесткость вставки; Δ – величина линейного перемещения оправки, а момент сопротивления $M_c = c' \cdot \varphi$, где c' – жесткость вставки при кручении; φ – угол поворота державки. Вставка 5 выполнена из материала с высоким демпфированием, поэтому ее сила сопротивления пропорциональна второй или высшей степени линейной скорости перемещения оправки 3, т.е. $M_c = \mu \cdot V^2$, где μ – коэффициент сопротивления; V – скорость перемещения оправки.

Державка 6 испытывает действующие усилия, равные разностям силы резания и суммы сил восстанавливающей и сопротивления, а также изгибающего момента и момента сопротивления материала вставки 5. Подбирая жесткость материала с высоким демпфированием вставки 5 можно минимизировать внешние воздействия на державку 6 и, следовательно, изгибы выступающего

конца державки 6 без дополнительных конструктивных разработок, так как выборка в державке занимает незначительный объем и при низких внешних нагрузках практически не снижает жесткость и прочность державки. Таким образом, демпфирующий резец позволяет достичь технического результата по повышению качества обработки и надежности устойчивого процесса резания, а также упрощению конструкции резца и снижению его материалоемкости [2, 4].

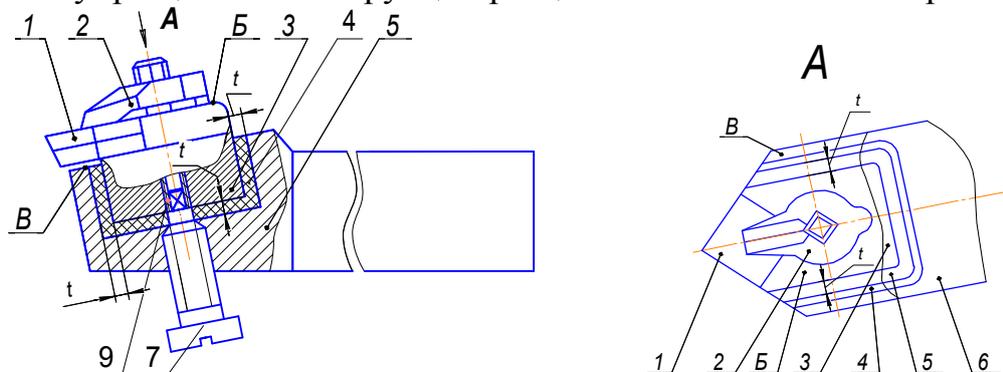


Рис. 2 – Общий вид резца при его монтаже

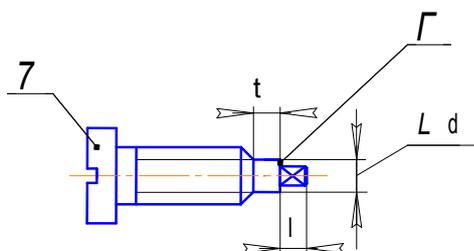


Рис. 3 – Установочно-регулировочный винт

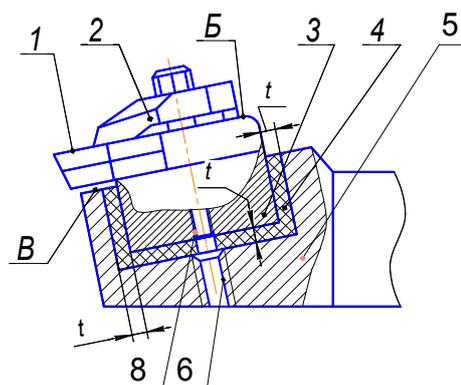


Рис. 4 – Общий вид резца после завершения монтажа демпфирующей вставки

При изготовлении и испытании экспериментального образца универсального демпфирующего резца выявлено, что недостатком является большая трудоемкость монтажа резца, связанная со сложностью размещения оправки в тонкостенном контейнере с равномерными зазорами по его основанию и стенкам, заполнения зазоров материалом с высоким демпфированием, а также с неподвижным закреплением контейнера в выборке. С целью снижения трудоемкости монтажа резца разработана более совершенная конструкция (рис. 2...4).

Подготовку универсального демпфирующего резца к работе производят в следующей последовательности. Режущую пластину 1 узлом ее крепления 2 жестко фиксируют на верхней поверхности Б металлической оправки 3, изготовленной в виде прямоугольного параллелепипеда. В резьбовое отверстие 8 нижнего основания оправки 3 торцевым ключом, расположенным в центральном отверстии цилиндрической втулки 9, ввинчивают ее заподлицо (поверхность нижнего основания оправки 3 и торцевая втулки 9 составляют одну плоскость). В сквозном резьбовом отверстии 6 прямоугольного основания выборки размещают трехступенчатый установочно-регулирующий винт 7, состоящий из последовательно расположенных резьбовой, цилиндрической и третьей ступени в виде прямоугольного параллелепипеда с основанием в форме многоугольника, которым может быть любая фигура, например, квадрат.

Диаметр d цилиндрической ступени и размеры основания третьей ступени меньше диаметра сквозного резьбового отверстия 8. Длина t цилиндрической ступени установочно-регулирующего винта 7 должна выступать над прямоугольным основанием выборки державки 5 на величину, равную толщине вставки из материала с высоким демпфированием.

Выступающую поверхность цилиндрической ступени предварительно смазывают маслом или разделительным составом, например, силиконом. Заполняют материалом с высоким демпфированием прямоугольное основание выборки до длины t выступающей над ним цилиндрической части, при этом контролируют отсутствие образования пустот.

В выборке, выполненной по форме оправки 3 и ориентированной по нормали к верхней плоскости В переднего конца державки 5 устанавливают оправку 3 с режущей пластиной 1 и втулкой 9 с расположением соосно втулки 9 и установочно-регулирующего винта 7. Центральное отверстие втулки 9 совпадает по форме и поперечным размерам с третьей ступенью установочно-регулирующего винта 7 и имеет глубину больше длины этой ступени, втулка 9 установлена заподлицо с нижним основанием оправки 3. Поэтому происходит точное базирование оправки 3 по торцевой поверхности Г цилиндрической ступени и третьей ступенью указанного винта 7 в отверстии втулки 9 с обеспечением по основаниям и стенкам выборки и оправки равномерных зазоров. Оправку 3 устанавливают в выборке с обеспечением отсутствия контактирования режущей пластины 1 и узла ее крепления 2 на оправке 3 с державкой 5. Зазоры по стенкам выборки и оправки 3 заливают материалом с высоким демпфированием, контролируя качество заполнения зазоров. После полимеризации материала образуется вставка 4, заполняющая зазоры, но не создается жесткого соединения установочно-регулирующего винта 7 со вставкой 4, так как его поверхность, контактирующая со вставкой 4, промазана. При этом третья ступень установочно-регулирующего винта 7 является торцевым ключом для цилиндрической втулки 9. Так как диаметр цилиндрической ступени установочно-регулирующего винта 7 меньше диаметра сквозного резьбового отверстия 6, а диаметр втулки 9 равен или меньше диаметра цилиндрической ступени, то при вывинчивании установочно-регулирующего винта 7 из отверстия 6 державки 5, одновременно втулка 9 освобождается из оправки 3 и державки 5. После это-

го оправка 3 оказывается во вставке 4 из материала с высоким демпфированием без контактирования с державкой 5.

Возможно заполнение зазоров не только заливкой, но и расположением в них полимеризованных пластин из материала со свойством высокого демпфирования, при этом монтаж резца не является трудоемким [4, 5, 6]. Таким образом, предлагаемый универсальный демпфирующий резец позволяет достичь технического результата по снижению трудоемкости монтажа резца.

Список литературы: 1. Резец: пат. 2009768 Рос. Федерация: МПК⁵ В23В27/00/; В.А. Рогов; заявитель патентообладатель Российский университет дружбы народов. - №5014352/08; заявл. 02.12.91; опубл. 30.03.94. - 3с. 2. Новиков С.Г. Повышение устойчивости процесса точения демпфирующим резцом / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.А. Кудряшв, Е.И. Яцун, Е.В. Павлов // Известия Юго-Западного государственного университета. – Курск, 2011.-№3.- С.122-125. 3. Малыхин В.В. Резец с демпфирующими свойствами для станков с ЧПУ [Текст] / В.В. Малыхин, С.Г. Новиков, Ф.В. Новиков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка: Технічні науки, «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Випуск 118. – С.147-148. 4. Универсальный демпфирующий резец: пат. 2457078 Рос. Федерация: МПК В23В27/00/; С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др.; заявитель патентообладатель ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ).- №2010145193/02; заявл. 03.11.2010; опубл. 27.02.2012, Бюл.№21. – 8 с. 5. Демпфирующий резец: пат. 2596546 Рос. Федерация: МПК В23В27/00/; С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др.; заявитель патентообладатель ФБОУ ВПО «Юго-западный государственный университет» (ЮЗГУ). - №2015114 463/02; заявл. 20.04.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. №25. – 6 с.

УДК 621.923

РЕЗЦЫ С ДЕРЖАВКОЙ В УПРУГОЙ ВСТАВКЕ

Новиков С.Г., канд. техн. наук, доц.

(ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт», Курск)

Малыхин В.В., канд. техн. наук, доц., **Яцун Е.И.**, канд. техн. наук, доц.

(ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск)

Предложена конструкция резца с державкой в упругой вставке, позволяющая значительно снизить трудоёмкость монтажа резца.

Ключевые слова: резец, державка в упругой вставке, трудоёмкость монтажа резца

Запропоновано конструкцію різця з державкою в пружній вставці, що дозволяє значно знизити трудомісткість монтажу різця.

Ключові слова: різець, державка в пружній вставці, трудомісткість монтажу різця

A cutter tool holder design with an elastic insert, which allows to significantly reduce the complexity of the tool assembly.

Keywords: cutter, tool holder in the elastic insert, the complexity of installation tool

Результаты научных исследований ведущих ученых и практиков, связанных с повышением эффективности процессов резания посредством конструктивных изменений токарного инструмента с целью снижения вибраций свидетельствуют о том, что применение инструментов с виброгасящим эффектом

позволяет успешно решить проблему наилучшей обработки деталей из различных конструкционных материалов

Известны демпфирующие резцы [1, 2], (рис. 1, 2), которые вместе с достоинствами, имеют и недостатки: ненадежное гашение вибраций в процессе резания и, как следствие, снижение качества обработки. Если в процессе точения возникают большие силы резания, то происходит деформация выступающей части державки, ослабленной выборкой в ней. Кроме того, режущая пластина и узел ее крепления расположены непосредственно в державке, жестко закрепленной в резцедержателе, что приводит к малому демпфированию возникающих в процессе резания колебаний вставкой из композиционного материала, размещенной в выборке внутри державки.

Повысить надежность устойчивого процесса резания и качества обработки, а также упростить конструкцию инструмента позволяет резец, представленный на рис. 1.

Режущая пластина 1 закреплена узлом ее крепления 2 в державке 3, имеющей выборку, выполненную равномерно по периметру конца державки 3 на длине L от ее торца до выступающей части с режущей пластиной 1. Конец державки 3 с выборкой размещен в изготовленном в виде прямоугольного параллелепипеда металлическом стакане 4 с одинаковыми зазорами t по его основанию и стенкам, при этом зазоры t заполнены вставкой 5 из материала с высоким демпфированием, а державка 3 установлена без возможности контактирования со стаканом 4.

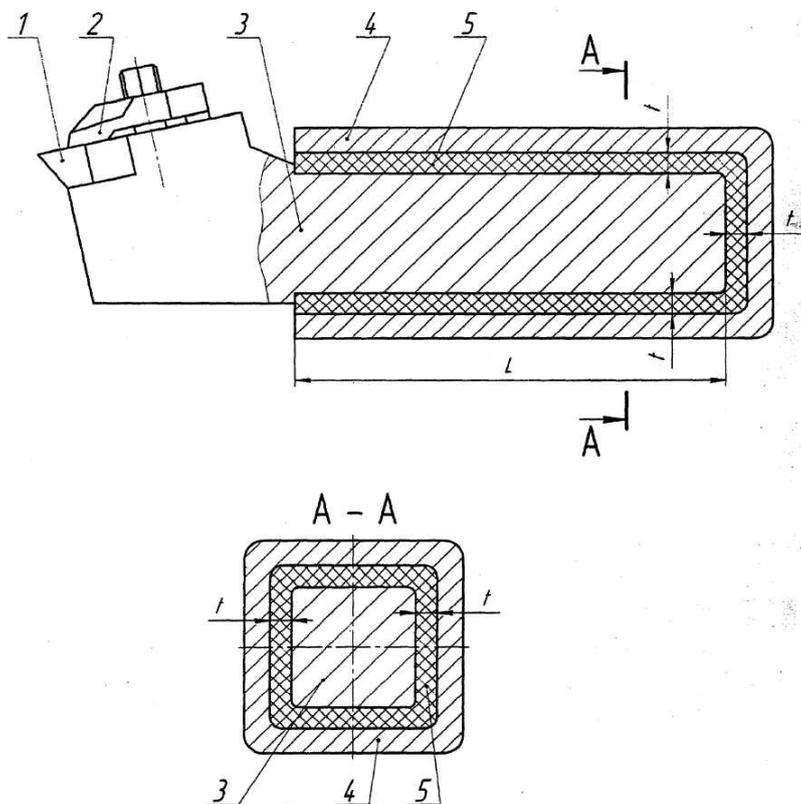


Рис. 1 – Общий вид демпфирующего резца

Данный демпфирующий резец позволяет:

1. Повысить надежность устойчивого процесса резания за счет возможности минимизации воспринимаемых державкой сил резания путем подбора жесткости материала с высоким демпфированием вставки.

2. Повысить качество обработки изделий, так как державка без возможности контактирования со стаканом размещена во вставке, заполняющей зазоры между основанием, стенками стакана и державкой, поэтому происходит высокоэффективное демпфирование продольных и поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания.

3. Упростить конструкцию резца из-за отсутствия необходимости дополнительных разработок по увеличению жесткости и прочности державки [3-6].

При испытании экспериментального образца [5] демпфирующего резца выявлены недостатки: трудоемкость демонтажа резца для замены демпфирующей вставки и неравномерное заполнения зазоров между стенками стакана и державкой композиционным демпфирующим материалом. Устранить отмеченные недостатки позволяет резец, представленный на рис. 2.

Режущая пластина 1 закреплена узлом ее крепления 2 в державке 3, имеющей выборку, выполненную равномерно по периметру конца державки 3 на длине от ее торца до выступающей части с режущей пластиной 1. Конец державки 3 с выборкой размещен в выполненном в виде прямоугольного параллелепипеда металлическом стакане с одинаковыми зазорами по его основанию и стенкам, стакан изготовлен сборным из верхнего и нижнего сопрягаемых между собой полустаканов 4 и 5, симметричных относительно горизонтальной плоскости, проходящей через продольную ось конца державки 3 с выборкой, в основаниях обоих полустаканов 4, 5 выполнено по одному, а в стенках по два сквозных резьбовых отверстия.

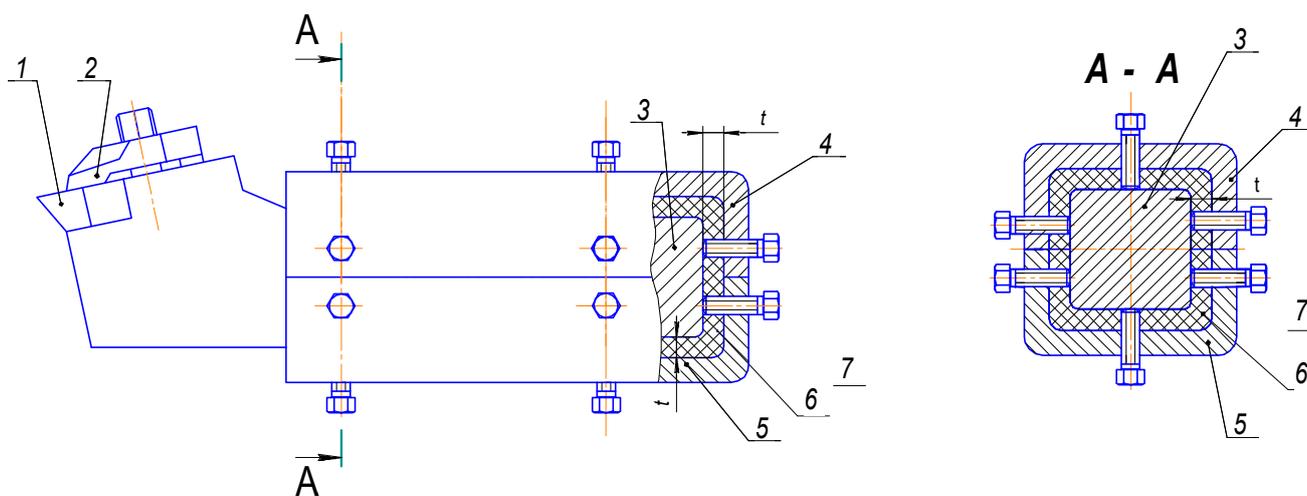


Рис. 2 – Общий вид резца при его монтаже

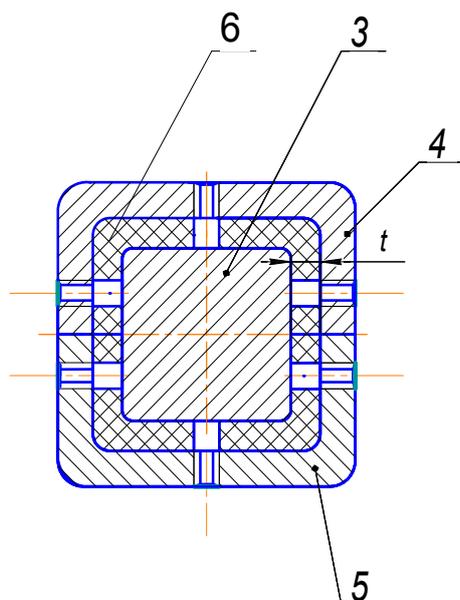


Рис. 3 – Поперечное сечение державки резца после монтажа и в процессе эксплуатации

Зазоры заполнены вставкой 6 из материала, обладающего свойством высокого демпфирования. В сквозных резьбовых отверстиях полустаканов 4, 5 размещены установочно-регулирующие винты 7, выступающие в материал вставки 6 на величину зазоров t между концом державки 3 с выборкой и собранным стаканом, с возможностью освобождения установочно-регулирующих винтов 7 из резьбовых отверстий. Державка 3 установлена без контактирования со сборным стаканом.

Подготовка демпфирующего резца к работе происходит в такой последовательности (рис. 3).

В сквозных резьбовых отверстиях верхнего и нижнего полустаканов 4,5 размещают установочно-регулирующие винты 7 и регулируют их выступание от внутренних стенок полустаканов 4, 5 на величину t необходимых зазоров между концом державки 3 с выборкой и полустаканами 4, 5. Выступающие концы установочно-регулирующих винтов 7 предварительно смазывают маслом или разделительным составом, например, силиконом. Устанавливают конец державки 3 с выборкой в любом из полустаканов, например, в верхнем полустакане 4, при этом конец державки 3 с выборкой базируется по торцевым поверхностям установочно-регулирующих винтов 7 с выдерживанием необходимых зазоров между державкой и полустаканом 4.

Производят подготовку материала со свойствами высокого демпфирования и заливают им необходимые зазоры, при этом контролируют качественное заполнение зазоров материалом без образования пустот, обращая особое внимание на область вблизи основания полустакана 4. Этот контроль легко осуществим в полустакане. Возможно заполнение зазоров не только заливкой, но и

расположением в них полимеризованных пластин из материала со свойством высокого демпфирования.

Выполняют работы в такой же последовательности и с нижним полустаканом 5. Полустаканы 4, 5 сопрягают друг с другом с образованием полного стакана в сборке. Тогда конец державки 3 с выборкой оказывается во вставке 6 из материала со свойствами высокого демпфирования и выступающими в него на величину заданных зазоров t концами установочно-регулирующих винтов 7. После полимеризации материала не образуется жёсткого соединения установочно-регулирующих винтов 7 со вставкой 6, т.к. концы винтов предварительно смазаны, что обеспечивает освобождение установочно-регулирующих винтов 7 из сквозных резьбовых отверстий верхнего и нижнего полустаканов 4, 5.

После вывинчивания установочно-регулирующих винтов 7 конец державки 3 с выборкой оказывается как бы в «коконе»-вставке 6, разделяющей державку 3 и полустаканы 4,5, причем неконтролируемые незаполненные полости во вставке 6 отсутствуют. Наличие в конструкции установочно-регулирующих винтов 7 для выдерживания одинаковых зазоров по основанию и стенкам сборного стакана и концом державки 3 с выборкой значительно снижает трудоёмкость монтажа резца.

Список литературы: 1. Резец для чистовой обработки: А.с. 1620212 СССР: МКИ В23В27/00/ В.А. Рогов, Г.Г. Позняк, И.Г. Солодков, Л.Г. Терминасова (СССР). - №4609025/08; заявл. 28.11.88; опубл. 15.01.91. Бюл.№2.- 5 с. 2. Резец: пат. 2009768 Рос. Федерация: МПК⁵ В23В27/00/; В.А. Рогов; заявитель патентообладатель Российский университет дружбы народов.- №5014352/08; заявл. 02.12.91; опубл. 30.03.94. -3 с. 3. Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов / В.В. Малыхин, Е.И. Яцун, С.Г. Новиков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – Курск, 2012.-№2. - С.43-46. 4. Разработка конструкции экспериментального образца демпфирующего резца / В.В. Малыхин, Е.И. Яцун, С.Г. Новиков., А.А. Фадеев // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XI-ой Международной научно-практической конференции 19-21 марта 2014 г. В 4-х томах. Том 4 / Отв. ред. Горохов А.А. – Курск, 2014. - С.234-238. 5. Виброакустическая диагностика состояния режущего инструмента и микронеровностей обработанной поверхности / В.В. Малыхин, Е.И. Яцун, С.Г. Новиков // Справочник, Инженерный журнал № 4, 2014. – ООО «Издательский дом «Спектр». – С. 31 – 35. 6. Демпфирующий резец: пат. 2457077 Рос. Федерация: МПК В23В27/00/; С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др.; заявитель патентообладатель ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ).- №2011106621/02; заявл. 22.02.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл.№21. – 7 с. 7. Яцун Е.И. Инструментальное обеспечение процессов механической обработки твердыми сплавами и композитами: монография / Е.И. Яцун, В.В. Малыхин, О.С. Зубкова, С.Г. Новиков. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. – 225 с. 8. Демпфирующий резец: пат. 2582403 Рос. Федерация: МПК В23В27/00; С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др.; заявитель патентообладатель ФБОУ ВПО «Юго-западный государственный университет» (ЮЗГУ). - №2015103 203/02; заявл. 03.02.2015; опубл. 27.04.2016, Бюл. №12. – 8 с.

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ В КОНСТРУКЦИИ

Гусарев В.С., канд. техн. наук, доц., **Ковальчук Е.Н.**, канд. техн. наук
(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

В работе показано применение структурного моделирования сопряжения деталей в изделии, маршрута процесса сборки и автоматической системы сборки на основе алгоритмов функционирования

Ключевые слова: автоматическая сборка деталей, проектирование технологических процессов, структурная схема оборудования.

В роботі показано застосування структурного моделювання сполучення деталей у виробі, маршруту процесу складання і автоматичної системи складання на основі алгоритмів функціонування

Ключові слова: автоматичне складання деталей, проектування технологічних процесів, структурна схема обладнання.

The paper shows the application of structural modeling interface components in the product, the route of the process of assembly and automated assembly system based on the algorithm-operation of mov

Keywords: auto parts assembly, design processes, structural diagram of the equipment.

Проектирование технологических процессов автоматической сборки отличается сложностью и трудоемкостью. Технология автоматической сборки, в отличие от технологии механической обработки, отличается тем, что она реализуется только специальным оборудованием. Такое оборудование разрабатывается под определенную и конкретную задачу. Оно может строиться как на общих принципах технического проектирования, так и на модульных принципах сборки [1]. Решение задачи проектирования технологических процессов автоматической сборки многовариативно. Даже для простых изделий может быть разработано несколько вариантов технологических процессов и автоматического оборудования. Сопоставляя эти варианты по ряду технических критериев, выбирают один из нескольких альтернативных [2]. Как и многие другие виды технологического и конструкторского проектирования, оно выполняется в несколько последовательных этапов: сначала делают предварительные наброски технологического процесса, затем их уточняют и конкретизируют на основе детальных технологических расчетов. После уточнения предварительных набросков получают законченные разработки технологического процесса автоматической сборки. К правильному и приемлемому решению приходят после ряда попыток и сравнения отдельных вариантов.

В целях сокращения трудоемкости и длительности технологических, разработок нам представляется необходимым рекомендовать метод структурного моделирования процессов и оборудования для автоматической сборки. Это позволит на предварительных стадиях технологического проектирования сопоставлять и выбирать рациональный вариант.

При разработке автоматизированных технологических процессов требуется решить следующие вопросы: определение технологичности конструкции изделия и отдельных деталей, их унификации и стандартизации; выбор оптимального варианта технологического процесса и оборудования для всех операций сборки; определение производительности, экономического эффекта и сроков окупаемости автоматизированной сборочной системы. Существенное влияние на структуру технологического процесса автоматической сборки и выбор оборудования для автоматической сборки оказывает вид производства [3].

Кроме того, при оценке структурной схемы сборки большую роль играет количество деталей в узле, ибо от этого зависит сложность и надежность работы автоматического устройства. Например, при 4 – 7 деталях в узле, сборочное автоматическое оборудование, работающее по последовательному принципу (схема стапеля), может быть более эффективным. Если же в узел входит больше деталей, то целесообразно их присоединение по принципу автоматической линии. В этом случае автоматическое оборудование может комплектоваться из стандартных элементов, к которым относятся бункеры, магазины деталей; транспортеры, перегружатели, и собственно устройства для сопряжения деталей. В результате получается менее сложный по алгоритму функционирования процесс и оборудование для автоматической сборки [3].

Поэтому при разработке модели технологического процесса автоматической сборки и подготовке материалов для разработки сборочного автоматического оборудования в первую очередь следует обращать внимание на качественную сторону, предшествующей подготовке деталей, подлежащих автоматической сборке. Достаточно серьезным фактором обеспечения автоматической сборки является выбор способа сборки и построения сборочных механизмов и устройств. Сборочные механизмы должны обеспечить собираемость всех деталей, размерные параметры которых лежат в пределах установленного допуска. Конструкция многих узлов машин такова, что их сборка при механизированном процессе может быть осуществлена либо по принципу концентрации операций, либо по принципу дифференциации.

Схемы сборок, структур оборудования и алгоритмы его функционирования

В нашей статье [1] было показано, как можно использовать структурное моделирование при проектировании сборочно-монтажных процессов на основе анализа сопряжений деталей в узлах конструкций. В данной работе покажем особенности построения структурных схем оборудования, реализующие разные варианты алгоритмов их функционирования.

1. Сборка представляет собой вал a_1 на цапфу, которого напрессован подшипник a_2 .

Структурная схема оборудования содержит рабочую (позицию) ячейку, механизмы подачи деталей из магазинов $U(a_1)$, $U(a_2)$ в позицию сборки и механизм A_2 напрессовки подшипника на вал. В этой структуре все действия выполняются последовательно, что соответствует алгоритму функционирования. На рис. 1 представлена сборка и структурная схема.

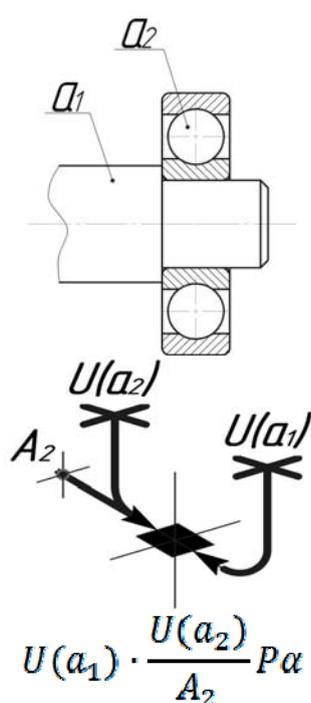


Рис. 1 – Вал и подшипник в сборе

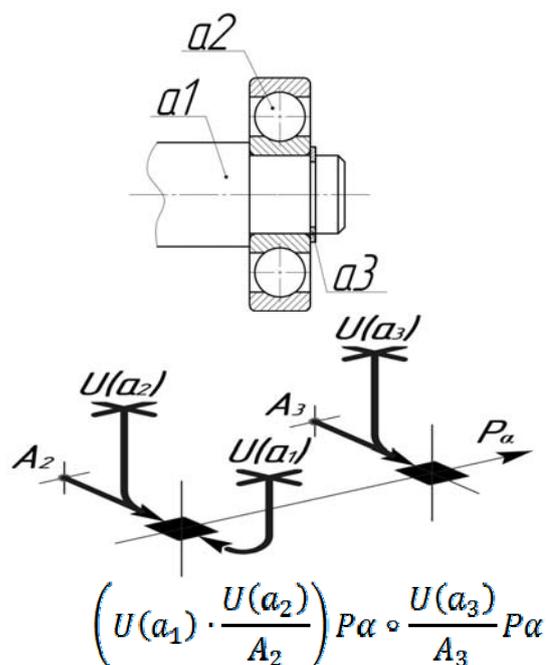


Рис. 2 – Вал с подшипником и стопорным кольцом

2. Сборка представляет собой вал a_1 на цапфу, которого напрессован подшипник a_2 , который фиксируется стопорным кольцом a_3 .

Структурная схема оборудования содержит две рабочих позиции (ячейки), механизмы подачи деталей из магазинов $U(a_1)$, $U(a_2)$ в первой позиции и механизм $U(a_3)$ подачи стопорного кольца во второй. В первую позицию поступает из магазина вал a_1 , затем в эту же позицию сборки поступает подшипник a_2 механизм A_2 производит напрессовку подшипника на вал, после чего вал с подшипником перемещается транспортером Pa во вторую позицию для установки стопорного кольца a_3 механизмом A_3 . В этой структуре все действия в первой позиции выполняются последовательно, а действия в позициях первой и второй одновременно, что соответствует алгоритму функционирования. Связь позиций между собой осуществляет линейный транспортер Pa . На рис. 2 представлена сборка и структурная схема оборудования сборки.

3. Сборка представляет собой вал a_1 на его цапфы с двух сторон напрессованы подшипники a_2 и a_3 .

Структурная схема оборудования содержит четыре рабочих позиции (ячейки). Механизм подачи вала a_1 из магазина $U(a_1)$, $U(a_2)$ в первой позиции, и механизм подачи подшипника $(aв)_1$ из магазина $U(aв)_1$ и механизм напрессовки $(AB)_1$ во второй позиции, в третьей позиции находится механизм поворота $Pβ$, в четвертой механизм $U(aв)_2$ для установки подшипника $(aв)_2$. В первую позицию поступает из магазина вал a_1 , затем изделие перемещается во вторую позицию, эту же позицию сборки поступает подшипник $(aв)_1$ механизм $(AB)_1$ производит напрессовку подшипника на вал, после чего вал с подшипником перемещается транспортером Pa в третью позицию для поворота на 180 градусов, далее изделие перемещается транспортером в четвертую позицию, где происходит сначала подача второго подшипника $(aв)_2$ и его напрессовка меха-

низмом $(AB)_2$ установки стопорного кольца a_3 . механизмом A_3 . В этой структуре все действия во внутри позиций выполняются последовательно, а действия между позициями одновременно, что соответствует алгоритму функционирования. Связь позиций между собой осуществляет линейный транспортер Pa . На рис. 3 представлена сборка и структурная схема оборудования.

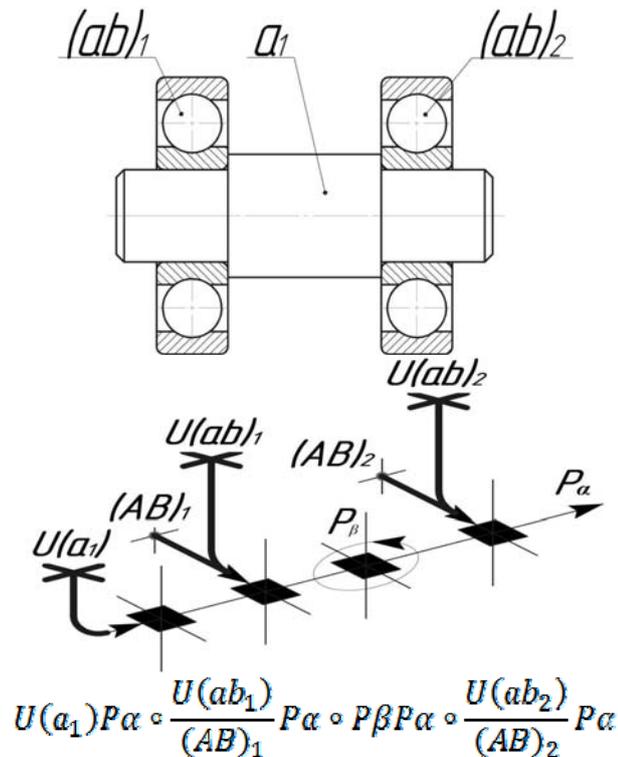


Рис. 3 – Вал с двумя подшипниками

4. Сборка представляет собой вал a_1 на его две цапфы, напрессованы подшипники $(ав)_1$ и $(ав)_2$, а также два стопорных кольца a_2 и a_3 .

Структурная схема оборудования содержит три рабочих позиции (ячейки). Механизм подачи вала a_1 из магазина $U(a_1)$ в первой позиции, и механизмы подачи подшипников $(ав)_1$ и $(ав)_2$ из магазинов $U(ав)_1$ и $U(ав)_2$, и механизмы напрессовки $(AB)_1$ и $(AB)_2$ во второй позиции, а в третьей позиции находятся механизмы $U(a)_2$ и $U(a)_3$ для установки стопорных колец механизмами A_2 и A_3 . В первую позицию поступает из магазина вал a_1 , затем изделие перемещается во вторую позицию, эту же позицию сборки поступает подшипники $(ав)_1$ и $(ав)_2$ механизм $(AB)_1$ и $(AB)_2$ производит напрессовку подшипников на вал, после чего вал с подшипниками перемещается транспортером Pa в третью позицию, где происходит сначала подача и установка двух стопорных колец a_2 и a_3 . механизмами A_2 и A_3 . В этой структуре все действия в внутри позиций выполняются одновременно, как и действия между позициями, что соответствует алгоритму функционирования. Связь позиций между собой осуществляет линейный транспортер Pa . На рис. 4 представлена сборка и структурная схема оборудования.

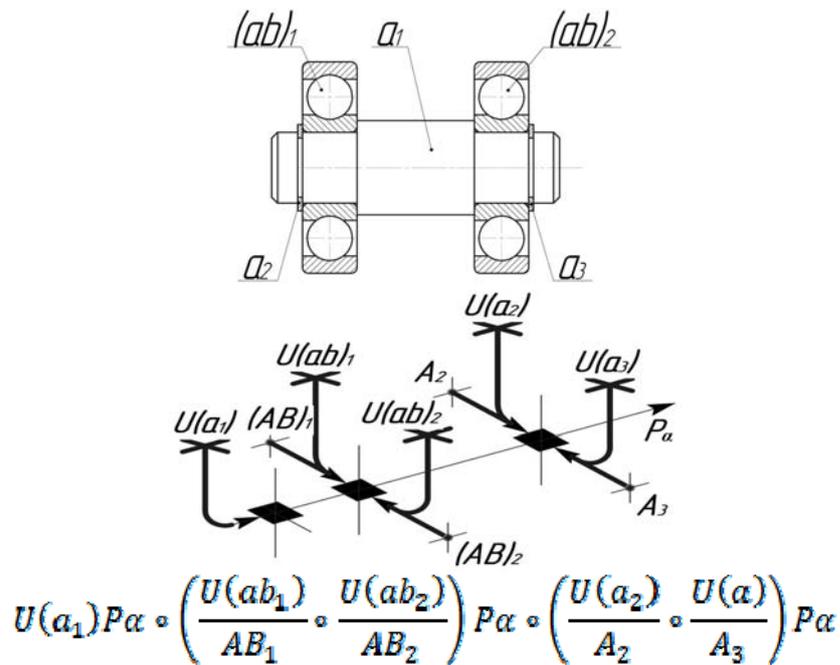


Рис. 4 – Вал с двумя подшипниками и стопорными кольцами

Проектирование схем сборок, технологического процесса, структуры оборудования и алгоритмов функционирования

Приведем пример применения метода структурного моделирования процесса, оборудования и алгоритма функционирования. Покажем, как ведется проектирование по всем этапам Сборка вала и четырех подшипников в корпусе.

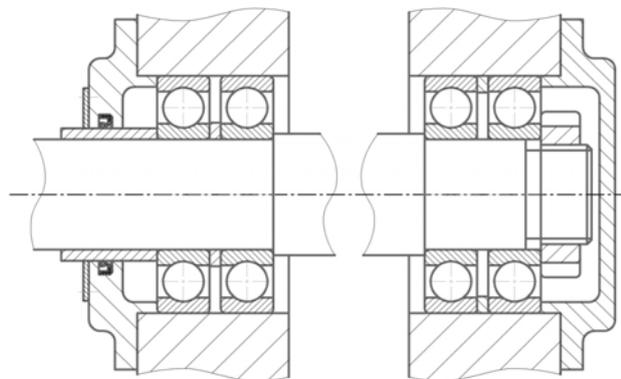


Рис. 5 – Вал с 4-мя подшипниками в корпусе

Этап 1. Технологичность конструкции и кодирование

В данном изделии есть резьбовое соединение, позволяющее закрепить подшипник. Для автоматической сборки это соединение недопустимо, поэтому заменим его на стопорное кольцо.

Кодирование изделия начнем с вала, обозначив его a_1 . Все элементы, относящиеся к нему будем обозначать через a_i . Это две втулки a_2 и a_3 , и стопорное кольцо a_4 . Подшипники обозначим как $(ab)_1$, $(ab)_2$, $(ab)_3$ и $(ab)_4$. Элементы, относящиеся к корпусу, будем обозначать через b_i . Это сам корпус b_1 , втулка b_2 и две крышки подшипников b_3 и b_4 .

Нанесем обозначения на чертеж.

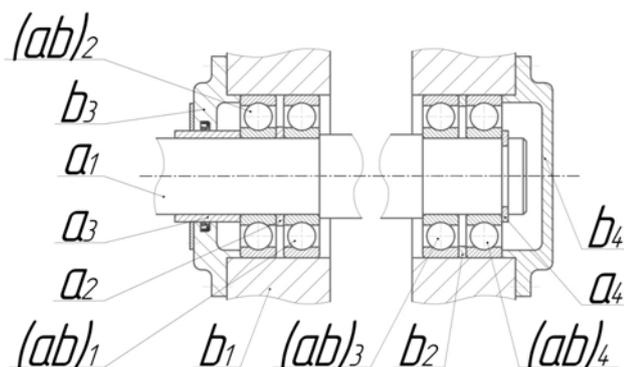


Рис. 6 – Вал с 4-мя подшипниками в корпусе обозначенный

Этап 2. Составление матрицы изделия

В первый столбик запишем элементы, которые относятся к валу, это сам вал a_1 , две втулки a_2 и a_3 , и стопорное кольцо a_4 . Во второй запишем подшипники $(ab)_1$, $(ab)_2$, $(ab)_3$ и $(ab)_4$. В третий запишем все элементы, которые сопрягаются с корпусом. Это сам корпус b_1 , втулка b_2 и две крышки подшипников b_3 и b_4 .

Матрица будет иметь вид:

Матрица изделия

$$\begin{bmatrix} a_1 & (ab)_1 & b_1 \\ a_2 & (ab)_2 & b_2 \\ a_3 & (ab)_3 & b_3 \\ a_4 & (ab)_4 & b_4 \end{bmatrix}$$

Этап 3. Рассмотрим варианты сборки и составим графы процессов

Рассмотрим два варианта из возможных процессов сборки.

1. Сборка изделия начинается с подачи $U(a_1)$ вала A_1 в первую позицию. На второй позиции последовательно напрессовываются подшипник $(ab)_1$, втулка a_2 и подшипник $(ab)_2$ который закрепляется втулкой a_3 . На третьей, выполняется установка вала в корпус b_1 . На четвертой происходит последовательная установка подшипника $(ab)_3$, втулки b_2 , напрессовка последнего подшипника $(ab)_4$ и стопорение его кольцом a_4 . На пятой позиции сборка завершается одновременной установкой крышек подшипников b_3 и b_4 .

2. Сборка изделия начинается с подачи $U(a_1)$ вала A_1 в первую позицию. На второй позиции последовательно напрессовываются подшипники $(ab)_1$, втулка a_2 и подшипник $(ab)_2$. На третьей, выполняется установка вала в корпус b_1 . На четвертой происходит последовательная установка подшипника $(ab)_3$ втулки b_2 и напрессовка последнего подшипника $(ab)_4$. На пятой позиции, одновременно, с обеих сторон, фиксируют подшипники стопорным кольцом a_4 и втулкой a_3 . На шестой, сборка завершается одновременной установкой крышек подшипников b_3 и b_4 .

Теперь можно составить графы технологической сборки.

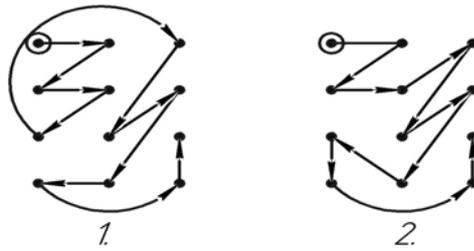


Рис. 7 – Графы технологического процесса сборки

Этап 4. Распределение технологических операций по ячейкам оборудования

Исходя из конструкции изделия и графов технологической сборки, распределим операции сборки по ячейкам оборудования и составим графы.

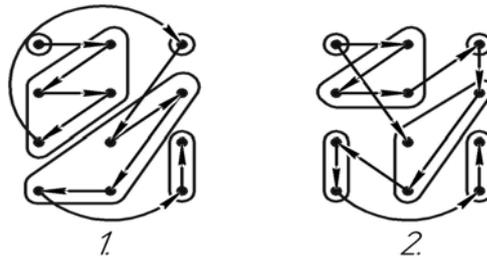
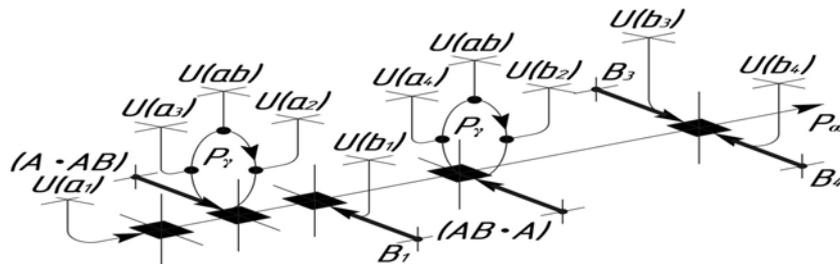


Рис. 8 – Графы технологического процесса сборки, распределенного по ячейкам оборудования

Этап 5. Структурная схема автоматической линии сборки

Схемы структур построим на основе конвейерного принципа с применением механизма перемещения по позициям P_α и механизма смены подающих деталей P_γ .

1. Вариант



2. Вариант

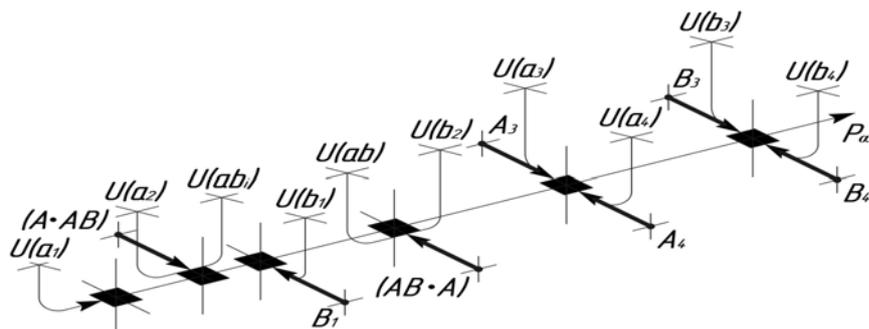


Рис. 9 – Структурные схемы автоматических пиний сборки

Этап 6. Составим алгоритмы функционирования оборудования по каждому варианту.

Алгоритм функционирования для первого варианта автоматического сборочного оборудования:

$$\begin{aligned} (U(a_1))p_\alpha & \circ \left(\frac{U(ab)_1}{(AB)_1} p_\gamma \cdot \frac{U(a_2)}{A_2} p_\gamma \cdot \frac{U(ab)_2}{(AB)_2} p_\gamma \cdot \frac{U(a_3)}{A_3} p_\gamma \right) p_\alpha \\ & \circ \left(\frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha \\ & \circ \left(\frac{U(ab_2)}{(AB)_3} p_\gamma \cdot \frac{U(b_2)}{B_2} p_\gamma \cdot \frac{U(ab_4)}{(AB)_4} p_\gamma \cdot \frac{U(a_4)}{A_4} p_\gamma \right) p_\alpha \\ & \circ \left(\frac{U(b_2)}{B_2} \circ \frac{U(b_4)}{B_4} \right) \end{aligned}$$

Алгоритм функционирования для второго варианта автоматического сборочного оборудования:

$$\begin{aligned} (U(a_1))p_\alpha & \circ \left(\frac{U(ab)_1}{(AB)_1} \cdot \frac{U(a_2)}{A_2} \cdot \frac{U(ab)_2}{(AB)_2} \right) p_\alpha \circ \left(\frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha \\ & \circ \left(\frac{U(ab_2)}{(AB)_3} \cdot \frac{U(b_2)}{B_2} \cdot \frac{U(ab_4)}{(AB)_4} \right) p_\alpha \circ \left(\frac{U(a_2)}{A_3} \circ \frac{U(a_4)}{A_4} \right) p_\alpha \\ & \circ \left(\frac{U(b_2)}{B_2} \circ \frac{U(b_4)}{B_4} \right) \end{aligned}$$

Этап 7. Определение длительности цикла по вариантам автоматической сборки.

1. Вариант.

для первой позиции:

$$\tau U(a_1)p_\alpha = \tau U(a_1) + \tau p_\alpha = 1 + 1 = 2 \text{ EB};$$

для второй позиции:

$$\begin{aligned} & \tau \left(\frac{U(ab)_1}{(AB)_1} p_\gamma \cdot \frac{U(a_2)}{A_2} p_\gamma \cdot \frac{U(ab)_2}{(AB)_2} p_\gamma \cdot \frac{U(a_3)}{A_3} p_\gamma \right) p_\alpha \\ & = \tau U(ab)_1 + \tau (AB)_1 + \tau p_\gamma + \tau U(a_2) + \tau A_2 + \tau p_\gamma \\ & \quad + \tau U(ab)_2 + \tau (AB)_2 + \tau p_\gamma + \tau U(a_3) + \tau A_3 + \tau p_\gamma \\ & + \tau p_\alpha \\ & = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 \\ & = 13 \text{ EB} \end{aligned}$$

для третьей позиции:

$$\tau \left(\frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha = \tau U(b_1) + \tau B_1 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 \text{ EB}$$

для четвертой позиции:

$$\begin{aligned} & \tau \left(\frac{U(ab_2)}{(AB)_3} p_\gamma \cdot \frac{U(b_2)}{B_2} p_\gamma \cdot \frac{U(ab_4)}{(AB)_4} p_\gamma \cdot \frac{U(a_4)}{A_4} p_\gamma \right) p_\alpha \\ & = \tau U(ab_2) + \tau (AB)_3 + \tau p_\gamma + \tau U(b_2) + \tau B_2 + \tau p_\gamma \\ & + \tau U(ab_4) + \tau (AB)_4 + \tau p_\gamma + \tau U(a_4) + \tau A_4 + \tau p_\gamma \\ & + \tau p_\alpha \\ & = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 \\ & = 13 \text{ EB} \end{aligned}$$

для пятой позиции:

$$\tau \left(\frac{U(b_2)}{B_2} \circ \frac{U(b_4)}{B_4} \right) p_\alpha = \tau U(b_2) + \tau B_2 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 \text{ EB}$$

Поскольку операции на каждой позиции выполняются одновременно, общая длительность цикла будет равна наибольшему времени на одной позиции. В нашем случае длительность цикла будет равна времени сборки на третьей позиции: $\tau_c = 13 \text{ EB}$.

2. Вариант.

для первой позиции:

$$\tau U(a_1) p_\alpha = \tau U(a_1) + \tau p_\alpha = 1 + 1 = 2 \text{ EB};$$

для второй позиции:

$$\begin{aligned} \tau \left(\frac{U(ab)_1}{(AB)_1} \cdot \frac{U(a_2)}{A_2} \cdot \frac{U(ab)_2}{(AB)_2} \right) p_\alpha \\ = \tau U(ab)_1 + \tau (AB)_1 + \tau U(a_2) + \tau A_2 + \tau U(ab)_2 \\ + \tau (AB)_2 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7 \text{ EB} \end{aligned}$$

для третьей позиции:

$$\tau \left(\frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha = \tau U(b_1) + \tau B_1 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 \text{ EB}$$

для четвертой позиции:

$$\begin{aligned} \tau \left(\frac{U(ab_3)}{(AB)_3} \cdot \frac{U(b_2)}{B_2} \cdot \frac{U(ab_4)}{(AB)_4} \right) p_\alpha \\ = \tau U(b_3) + \tau B_3 + \tau U(b_2) + \tau B_2 + \tau U(ab_4) + \tau (AB)_4 \\ + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7 \text{ EB} \end{aligned}$$

для пятой позиции:

$$\tau \left(\frac{U(a_2)}{A_3} \circ \frac{U(a_4)}{A_4} \right) p_\alpha = \tau U(a_2) + \tau A_2 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 \text{ EB}$$

для шестой позиции:

$$\tau \left(\frac{U(b_2)}{B_2} \circ \frac{U(b_4)}{B_4} \right) = \tau U(b_2) + \tau B_2 = 2 \text{ EB}$$

Поскольку операции на каждой позиции выполняются одновременно, общая длительность цикла будет равна наибольшему времени на одной позиции. В нашем случае длительность цикла будет равна времени сборки на второй позиции: $\tau_c = 7 \text{ EB}$.

Этап 8. Определим производительность каждой автоматической системы и запишем ее характеристики.

Производительность оборудования находим по формуле:

$$\Pi = \frac{60 \cdot F}{\tau_c}$$

где F – число потоков сборки; τ_c – время цикла.

1. Вариант. Запишем итоговую характеристику сборочного автомата: число сборочных позиций $E = 5$; число потоков $F = 1$; число механизмов $G = 8$; число движений $H = 35$; длительность цикла $\tau_c = 13 \text{ EB}$; производительность:

$$\Pi = \frac{60 \cdot F}{\tau_c} = \frac{60 \cdot 1}{7} = 4,61 \text{ шт/час}$$

2. Вариант. Запишем итоговую характеристику сборочного автомата: число сборочных позиций $E = 6$; число потоков $F = 1$; число механизмов $G = 8$;

число движений $H = 29$; длительность цикла $\tau_c = 7 \text{ EB}$; производительность:

$$\Pi = \frac{60 \cdot F}{\tau_c} = \frac{60 \cdot 1}{7} = 8,57 \text{ шт/час}$$

Этап 9. Решение. Принимаем для реализации вариант №2, т.к. он имеет более высокую производительность.

Список литературы: 1. Гусарев В. С. Структурная модель сборки деталей в конструкции / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук // Физические и компьютерные технологии: материалы 20-й Междунар. научн.-практ. конф. (23-24 декабря 2014 г., Харьков). – Днепропетровск: Лира. – С. 28-33. 2. Гусарев В.С. Модульное построение сборочно-монтажного оборудования для машиностроения / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук // Физические и компьютерные технологии: материалы 17-й Междунар. научн.-практ. конф. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2012. – С. 45-48. 3. Гусарев В.С. Автоматическая сборка массовых изделий / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук, В.Б. Наддачин // Информационные технологии в промышленности ИТИ–2012: материалы VII Междунар. научн.-техн. конф. (30–31 октября 2012 года). – Минск, 2012. – С. 71-72. 4. Гусарев В.С. Построение сборочно-монтажного оборудования по модульному принципу / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук // Информационные технологии в промышленности ИТИ–2012: материалы VII Междунар. научн.-техн. конф. (30–31 октября 2012 года). – Минск, 2012. – С. 193–194.

UDK 621.923

Design of Nozzle for Optimization of Performance of Vertical Axis Wind Turbine

Pankaj kumar mishra¹, Dr. Arvind saran darbari²,
Dr. Vijay kumar³, Shishir srivastava⁴

¹ABESIT, Ghaziabad, ²SHIATS, Allahabad, ³IIMT, Greater Noida, ⁴ABESIT, Ghaziabad⁴

Introduction

Nozzle is a device of varying cross – section where kinetic energy is increase at the expense of pressure energy. It is mainly used to produce high speed jet and that is utilized to produce thrust for jet propulsion or to drive steam or gas turbine.

A nozzle is often a pipe or tube of varying cross sectional area and it can be used to direct or modify the flow of a fluid (liquid or gas). Nozzles are frequently used to control the rate of flow, speed, direction, mass, shape, and/or the pressure of the stream that emerges from them.

In the nozzle the enthalpy of the fluid decrease and pressure drops simultaneously the flow of fluid is accelerated. This is generally used to convert the part of energy of fluid into kinetic energy of fluid supplied to the turbine.

Assumptions

- Flow through the nozzle is one dimensional
- Flow is steady state
- Flow is isentropic
- Air is compressible
- Mass flow rate is constant

Design and fabrication of Nozzle

For the trapezoidal cross section nozzle-

$$d_1 = 0.6 \text{ m} \quad d_2 = 0.3 \text{ m}$$

Now for trapezoidal cross section nozzle $d = 0.6$ m , dimensions is given by –

$$d_{eq} = \frac{4Area}{perimeter}$$

Let's assume, the ratio of width and height is 1.5

$$Width = a_1 \quad Height = b_1$$

Then at inlet,

$$0.6 = 4 \frac{a_1 \times b_1}{2(a_1 + b_1)}$$

$$\frac{a_1 \times b_1}{(a_1 + b_1)} = 0.3$$

$$\frac{a_1}{(1 + \frac{a_1}{b_1})} = 0.3$$

$$a_1 = 0.75 \text{ m}$$

$$b_1 = 0.50 \text{ m}$$

$$A_1 = a_1 \cdot b_1 = 0.3750$$

Now at outlet,

$$0.3 = 4 \frac{a_2 \times b_2}{2(a_2 + b_2)}$$

$$\frac{a_2 \times b_2}{(a_2 + b_2)} = 0.3$$

$$\frac{a_2}{(1 + \frac{a_2}{b_2})} = 0.15$$

Maintaining the same ratio at outlet-

$$a_2 = 0.375 \text{ m}$$

$$b_2 = 0.250 \text{ m}$$

$$A_2 = a_2 \cdot b_2 = 0.09375 \text{ m}^2$$

Nozzle material is GI sheet, whose friction factor is given as –

$$f = 0.03$$

Discharge

$$Q = A_1 \times V_1$$

$$Q = 0.375 \cdot 5 \quad (\text{air velocity at inlet is } 5 \text{ m/s})$$

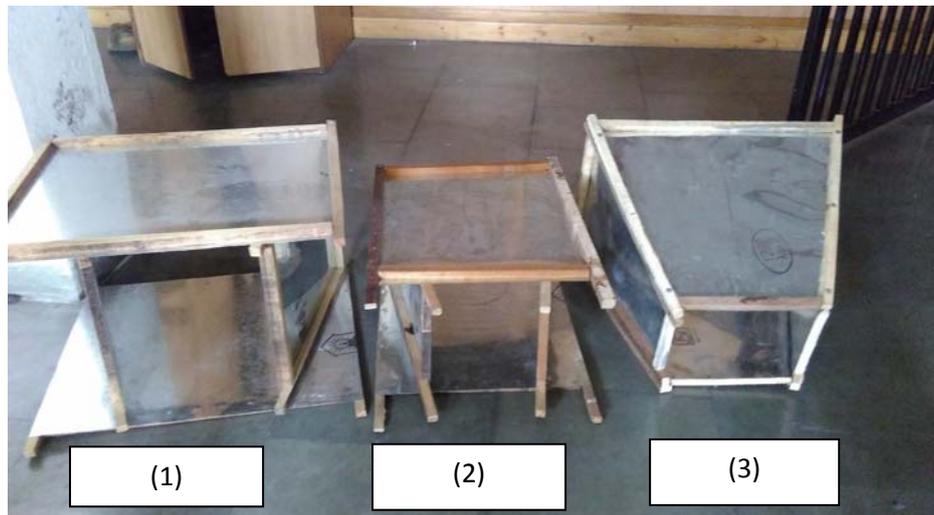
$$Q = 1.875 \text{ m}^3/\text{s}$$

Head losses-

$$H_L = \frac{fLQ^2}{(12.1 d_{eq}^5)} \quad (L = 0.70 \text{ m})$$

$$H_L = \frac{0.03 \times 0.70 \times 1.875 \times 1.875}{12.1 \times 0.45^5} \quad d_{eq} = \frac{0.6 + 0.3}{2} = 0.45 \text{ m}$$

$$H_L = 0.3306 \text{ m}$$



Now applying the continuity equation across the nozzle-

$$Q = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$Q = 0,09375 \cdot 20 = 1,875 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$V_2 = 20 \text{ m/s}$$

Now applying the Bernoulli equation for the section 1&2-

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \quad (p_1 = 1 \text{ atm})$$

$$P_2 = 0.9977 \text{ atm} < 1 \text{ atm}$$

This equation shows that the flow is taking place in forward direction and the kinetic energy of the fluid is increasing at the expense of pressure energy.

Out of the above three models of nozzle, the model no.3 is found most appropriate for the purpose whose dimensions are as given-

AT INLET-

$$a_1 = 0.75 \text{ m}$$

$$b_1 = 0.5 \text{ m}$$

AT OUTLET-

$$a_2 = 0.325 \text{ m}$$

$$b_2 = 0.25 \text{ m}$$

Result: Considering above dimensions of trapezoidal nozzle the velocity of incoming air can be increased up to 300% i.e. 4 times the initial value.

References

1. Izumi Ushiyama and Hiroshi Nagai, Optimum design configurations and performance of Savonius rotors, Wind Engineering Vol12, No 1, 1988 P-59
2. Sabzevari, professor, Performance Characteristic of Concentrator – Augmented Savonius Wind Rotor, Wind Engineering Vol1, No 3, 1977 P-198

3. S.Sivasegaram, Design Parameters affecting the performance of resistance – type vertical – axis wind rotor-An experimental investigation, Wind Engineering Vol1, No 3, 1977 P-207
4. M.H.Khan, Model and Prototype Performance Characteristic of Savonius rotor windmill, Wind Engineering Vol2, No 8, 1978 P-75
5. S.Sivasegaram, Secondary Parameters affecting the performance of Resistance type vertical axis turbine, Wind Engineering Vol2, No 8, 1978 P-49
6. Taha K.Aldoss and Khalid M.Obeidat. Deptt. Of Mechanical Engineering, Jordan, Wind Engineering Vol11, No 5, 1987 P-267
7. N.Fujisawa & H.Shirai, Japan, Wind Engineering Vol11, No 4, 1987 P-195
8. M.A.Kotb & T.K.Aldoss, Flow field around a partially – Blocked Savonius rotor, Apple Energy 38(1991), P117-132
9. M.A.Kotb & T.K.Aldoss, Theoretical calculations of the flow field around a Savonius rotor, Wind Engineering Vol12, No 3, 1988 P-194
10. Takenori Ogawa, Japan, Theoretical study on the flow about Savonius rotor, Journal of Fluids Engineering, P 85
11. Wind resource assessment in India, R.Rangarajan
12. References and text books
 - a. Wind Power, A hand book by V. Daniel Hunt
 - b. Wind turbine Engineering design by David M Eggleston & Forrest S Stoddard
 - c. Fluid mechanics by K.L. Kumar

УДК 621.658.012.531

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Христенко О.А., аспирант

(ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь, Украина)

Представлена комплексная модель процесса упрочнения резьбонарезного плоского инструмента при высокоскоростном плазменном нагреве, включающая математическое описание процесса нагрева.

Ключевые слова: *плазма, упрочнение, источник нагрева, модель, инструмент, клин*

Представлено комплексну модель процесу зміцнення різьбонарізного плоского інструмента при високошвидкісному плазмовому нагріванні, що включає математичний опис процесу нагріву.

Ключові слова: *плазма, зміцнення, джерело нагріву, модель, інструмент, клин*

Presents a comprehensive model of the process of hardening of the threading tool in high-speed flat plasma rated heating, including the mathematical description of the heating process.

Keywords: *plasma, hardening, heat source, model, tool, wedge.*

Резьба в машиностроении имеет самое широкое распространение как для крепежных изделий, так и для механизмов, передающих движение (ходовые винты и гайки).

Резьба является сложной винтовой поверхностью, к которой предъявляются высокие требования по точности и чистоте обработки. Формообразование резьбы является сложным процессом, и резьбовые инструменты работают в очень трудных условиях [1-3].

В работе [4] установлены факторы, обуславливающие низкую стойкость резбонарезного инструмента:

1) низкое качество инструмента вследствие неудовлетворительной термической обработки (заниженная твердость, наличие обезуглероженного слоя, отклонение от технологии термообработки);

2) низкое качество поверхностей после шлифования и заточки резьбового профиля инструмента;

3) завышенное отклонение размера отверстия под резьбу, твердости и химического состава материала заготовки;

4) отсутствие затылования по профилю режущих зубьев метчика;

5) увеличенный радиус закругления режущих кромок;

6) низкое качество материала инструмента.

Анализ приведенных факторов, в частности 1-го, 2-го и 6-го, показывает перспективность применения методов поверхностного упрочнения для повышения работоспособности резбонарезного инструмента. Вместе с тем, из-за сложной профильной рабочей поверхности применение любых методов упрочнения затруднено. Известно применение дробеструйной обработки [4] и нанесение покрытий на резьбообразующий инструмент [5,6].

Наиболее перспективным для упрочнения такого инструмента можно считать обработку высококонцентрированными источниками нагрева: лазерным лучом [7] и плазменной струей [8].

На основании изложенного, с учетом принятых требований к геометрическим параметрам резбонарезного инструмента и условий его нагружения [1-3], а также известных рекомендаций для инструмента других видов [7,8], разработаны технологические процессы плазменной обработки различных типов резбонарезного инструмента. При разработке оптимальной технологии модифицирования для каждого отдельного типа инструмента необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

1) размеры модифицированной зоны должны превышать величину допустимого износа;

2) расположение модифицированной зоны на режущей кромке должно позволять выполнение нескольких переточек.

На рис. 1 показаны следы износа и модифицированные зоны на режущих кромках метчиков (рис. 1, а) и гребенок (рис. 1, б). На машинных метчиках и гребенках зубья срезают слои металла значительной толщины (0,1...0,25 мм), что приводит к развитию износа как по задним, так и по передним поверхностям лезвий в виде лунки износа шириной A и глубиной B . Основным, определяющим способность или целесообразность продолжения работы резбонарезного инструмента, является износ по задним поверхностям h_3 . Наибольшее значение h_{3max} достигается на последних рабочих и первом калибрующем зубьях.

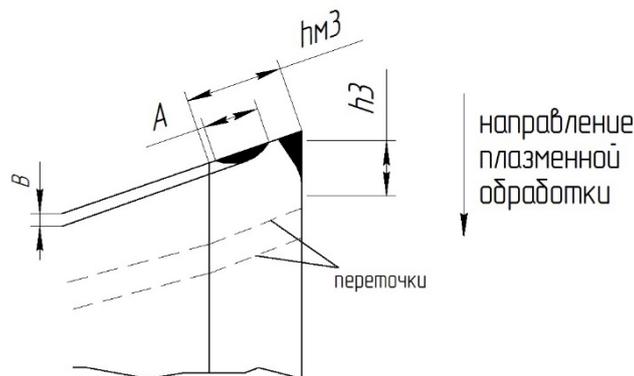


Рис. 1 – Размеры модифицированной зоны и следы износа на лезвиях метчика (а) и гребенки (б)

Принятое направление плазменной обработки (вдоль задней поверхности – рис.1) позволяет наносить модифицированные слои, которые сохраняются при нескольких переточках. При этом толщина модифицированной зоны $h_{мз}$ значительно превосходит допустимые пределы износа по передней поверхности (рис.1).

Список литературы: 1. Грановский В.И. Резание металлов / В.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М: Высшая школа, 1985. – 304 с. 2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин. – М: Высшая школа, 1974. – 400 с. 3. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов / Г.Г. Иноземцев. – М: Машиностроение, 1984. – 272 с. 4. Кургузов С.А. Исследование влияния дробеструйной обработки резьбообразующего инструмента / С.А. Кургузов, Т.Ш. Галиахметов // Известия Тульского государственного университета: Серия «Инструментальные и технологические системы». – 2006. – Вып. 2. – С. 157-161. 5. Геранюшкин А.В. Особенности эксплуатации твердосплавных резбонарезных пластин и методы повышения их надежности / А.В. Геранюшкин // Мир техники и технологий. – 2008. – №2. – С. 34-35. 6. Табаков В.П. Разработка многослойных покрытий для токарных резьбовых резцов / В.П. Табаков, Д.И. Сагитов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – №5. – С. 42-47. 7. Справочник по технологии лазерной обработки / В.С. Коваленко, В.П. Котляров, В.П. Дятел, Л.Ф. Головкин, В.В. Романенко. – Киев: Техника, 1985. – 167 с. 8. Самотугин С.С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С.С. Самотугин, Л.К. Лецинский. – Донецк: Новый мир, 2003. – 338 с.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ГЛУБИННОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Г.В., канд. техн. наук
(Научный центр НТК “Эльбор”, Харьков, Украина)

Теоретически вскрыты закономерности между производительностью и температурой при глубинном алмазном шлифовании, определены факторы, позволяющие уменьшить высокую температуру при глубинном шлифовании и реализовать значительные технологические возможности этого прогрессивного метода обработки.

Ключевые слова: глубинное алмазное шлифование, температура шлифования, производительность обработки, многопроходное шлифование, охлаждающая жидкость.

Теоретично розкриті закономірності між продуктивністю і температурою при глибинному алмазному шліфуванні, визначені фактори, що дозволяють зменшити високу температуру при глибинному шліфуванні і реалізувати значні технологічні можливості цього прогресивного методу обробки.

Ключові слова: глибинне алмазне шліфування, температура шліфування, продуктивність обробки, багатопрохідне шліфування, охолоджуюча рідина.

Theoretically revealed patterns between performance and temperature at deep diamond grinding, the factors that reduce the high temperature creep feed grinding and realize significant technological-cal potential of this progressive processing method.

Keywords: deep rough grinding, grinding temperature, processing performance, multipass grinding, coolant.

В настоящее время получили применение процессы глубинного алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов. Их преимущество состоит в возможности существенного повышения производительности обработки без увеличения удельного расхода алмаза и снижения стойкости круга. Об этом свидетельствуют внедренные в производство процессы плоского и круглого наружного шлифования твердосплавных инструментов, деталей с высокопрочными наплавками и покрытиями, деталей из керамики и графитов и т.д. Вместе с тем, высокий температурный режим глубинного шлифования, который приводит к появлению температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях, в ряде случаев сдерживает применение этого прогрессивного процесса в производство. Поэтому представляется важным провести теоретический анализ температурного режима процесса глубинного алмазного шлифования и обосновать границы его эффективного применения. Для этого следует воспользоваться известной зависимостью для расчета температуры шлифования [1]:

$$\theta = \frac{q}{2} \cdot \sqrt{\frac{2\pi \cdot l}{\lambda \cdot c \cdot \rho_m \cdot V_{дем}}}, \quad (1)$$

где $q = P_z \cdot V_{кр} \cdot \psi / F$ – плотность теплового потока, характеризующего количество теплоты, проходящей через единицу поверхности детали в единицу времени, Вт/м²; ψ – коэффициент, показывающий, какая часть работы переходит в теплоту, поглощаемую обрабатываемой деталью; P_z – тангенциальная состав-

ляющая силы резания, Н; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $F = B \cdot l$ – площадь контакта круга с деталью, м²; B – ширина круга, м; $l = \sqrt{2t/\rho}$ – длина дуги контакта круга с деталью, м; t – глубина шлифования, м; $\rho = 1/R_{кр} + 1/R_{дет}$; $R_{кр}$, $R_{дет}$ – соответственно, радиусы круга и детали, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ_m – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с.

Тангенциальная составляющая силы резания P_z с учетом известных соотношений [2] определяется зависимостью:

$$P_z = \sigma \cdot S = \frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot Q}{K_{ш} \cdot V_{кр}}, \quad (2)$$

где $\sigma = 2 \cdot \sigma_{сж} / K_{ш}$ – условное напряжение резания, Н/м²; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_y – радиальная составляющая силы резания, Н; $S = Q / V_{кр}$ – суммарная мгновенная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; Q – производительность обработки, м³/с.

Подставляя зависимость (2) в (1), получено:

$$\theta = \frac{\sigma_{сж} \cdot Q \cdot \psi}{K_{ш} \cdot B} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda \cdot c \cdot \rho_m \cdot l \cdot V_{дет}}}. \quad (3)$$

Температура шлифования θ тем больше, чем больше $\sigma_{сж}$, Q и меньше параметры $K_{ш}$, B , l , $V_{дет}$. Это согласуется с практикой шлифования. С учетом $Q = S_d \cdot B \cdot V_{дет} \cdot t$ температура шлифования θ опишется зависимостью:

$$\theta = \frac{\sigma_{сж} \cdot S_d \cdot t \cdot \psi}{K_{ш}} \cdot \sqrt{\frac{2\pi \cdot V_{дет}}{\lambda \cdot c \cdot \rho_m}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2t}}, \quad (4)$$

где S_d – долевая продольная подача ($S_d = 0 \dots 1$).

Следуя зависимости (4), увеличение параметров режима шлифования приводит к увеличению температуры шлифования θ , однако интенсивность увеличения θ с ростом $V_{дет}$ меньше, чем с ростом S_d и t , т.е. управлять параметром $V_{дет}$ более эффективно, чем S_d и t .

Основным фактором уменьшения температуры шлифования θ при заданных значениях $V_{дет}$, S_d и t является увеличение коэффициента шлифования $K_{ш}$. Это достигается за счет применения алмазных кругов на органических и керамических связках (обеспечивающих работу круга в режиме самозатачивания) или за счет применения электрофизикохимических методов правки алмазных кругов на металлических связках, обеспечивающих их высокую режущую способность и, соответственно, увеличение коэффициента шлифования $K_{ш}$. Скорость круга $V_{кр}$ оказывает влияние на температуру шлифования θ посредством коэффициента шлифования $K_{ш}$.

Разрешим зависимость (4) относительно скорости детали $V_{дет}$:

$$V_{дет} = \frac{K_{ш}^2 \cdot \theta^2}{\sigma_{сж}^2 \cdot S_{\delta}^2 \cdot t^{1,5} \cdot \psi^2} \cdot \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho_m}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}}. \quad (5)$$

С увеличением глубины шлифования t скорость детали $V_{дет}$ необходимо уменьшать более чем по линейной зависимости. Это обеспечит шлифование с заданной температурой шлифования θ . С уменьшением S_{δ} скорость детали $V_{дет}$ увеличивается, что связано с уменьшением номинальной глубины шлифования, приходящейся на один оборот детали, т.е. в этом случае осуществляется фактически многопроходное шлифование с номинальной глубины шлифования, значительно меньшей установочной глубины шлифования t .

Производительность обработки Q при заданной температуре шлифования θ определится с учетом зависимости (5):

$$Q = S_{\delta} \cdot B \cdot V_{дет} \cdot t = \frac{B \cdot K_{ш}^2 \cdot \theta^2}{\sigma_{сж}^2 \cdot S_{\delta} \cdot t^{0,5} \cdot \psi^2} \cdot \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho_m}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}}. \quad (6)$$

При этом скорость детали $V_{дет}$ определяется зависимостью (5). Как видно, производительность обработки Q с увеличением глубины шлифования t уменьшается. Это указывает на то, что добиться преимущества с точки зрения повышения производительности обработки Q при заданном значении температуры шлифования θ путем применения глубинного шлифования сложно. Применение обычного многопроходного шлифования с относительно небольшой глубиной шлифования t в этом направлении более предпочтительно, так как обеспечивает повышение производительности обработки Q .

Для увеличения производительности обработки Q в условиях глубинного шлифования необходимо, во-первых, увеличить коэффициент шлифования $K_{ш}$ за счет повышения режущей способности круга, во-вторых, обеспечить обильный теплоотвод из зоны резания для уменьшения коэффициента ψ .

Важным фактором повышения производительности обработки Q при глубинном шлифовании следует рассматривать уменьшение S_{δ} и увеличение ширины шлифования B , т.е. обработку производить широким кругом с образованным на нем заборным конусом или устанавливать круг под некоторым углом наклона φ (где $tg\varphi = t/B$), например, к направлению продольной подачи при круглом наружном шлифовании. В совокупности указанные факторы смогут нивелировать снижение производительности обработки Q за счет увеличения t в зависимости (5) и позволят реализовать на практике высокую производительность глубинного шлифования, что вытекает из зависимости [3]:

$$Q = \frac{S_{\delta} \cdot B \cdot k \cdot V_{кр} \cdot a_{z_{max}}^3}{16,7 \cdot 10^2 \cdot A^3} \cdot \sqrt{\frac{2t}{\rho}}, \quad (7)$$

где k – концентрация круга; A – зернистость круга, м; $a_{z_{max}}$ – максимальная толщина среза, м.

Исходя из зависимости (7), при фиксированном значении $a_{z_{max}}$ увеличение глубины шлифования t приводит к увеличению производительности обра-

ботки Q , т.е. метод глубинного шлифования является более производительным по сравнению с многопроходным шлифованием при одинаковой интенсивности износа круга, определяемом параметром $a_{z_{max}}$.

Скорость детали $V_{дет}$, обеспечивающая шлифование с заданным значением $a_{z_{max}}$, определяется из зависимости:

$$V_{дет} = \frac{Q}{S_{\delta} \cdot B \cdot t} = \frac{k \cdot V_{кр} \cdot a_{z_{max}}^3}{16,7 \cdot 10^2 \cdot A^3} \cdot \sqrt{\frac{2}{t \cdot \rho}}. \quad (8)$$

Для одновременного выполнения условий $\theta = const$ и $a_{z_{max}} = const$ необходимо сравнить зависимости (5) и (8) и определить скорость круга, тогда

$$V_{дет} = \frac{K_{ш}^2 \cdot \theta^2}{\sigma_{сж}^2 \cdot S_{\delta}^2 \cdot t \cdot \psi^2} \cdot \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho_m}{2\pi} \cdot \frac{16,7 \cdot 10^2 \cdot A^3}{k \cdot a_{z_{max}}^3}. \quad (9)$$

С увеличением глубины шлифования t скорость круга $V_{кр}$ необходимо уменьшать. При этом скорость детали $V_{дет}$, в соответствии с зависимостью (8), с увеличением глубины шлифования t будет уменьшаться в большей степени, чем при условии $V_{кр} = const$. Так, с увеличением t в 9 раз, скорость круга $V_{кр}$, в соответствии с зависимостью (9), уменьшается в 9 раз, а скорость детали $V_{дет}$, в соответствии с зависимостью (8), уменьшается в 27 раз. Производительность обработки Q , определяемая зависимостью (7), уменьшится в 3 раза.

В зарубежной литературе приводятся данные о том, что глубинное шлифование эффективно выполнять с той же расчетной (режимной) производительностью, что и многопроходное (маятниковое) шлифование, т.е. увеличивая глубину шлифования в 1000 раз, скорость детали $V_{дет}$ необходимо уменьшить в 1000 раз, сохраняя ширину шлифования постоянной, равной, например, ширине круга при плоском и круглом наружном шлифовании. Эффект повышения производительности обработки в данном случае достигается за счет сокращения вспомогательного времени на переходы круга и реверсирование стола станка. Следуя зависимости (3), при условии $Q = const$ и значительном уменьшении скорости детали $V_{дет}$ температура шлифования θ увеличивается и поэтому для ее снижения необходимо увеличить коэффициент шлифования $K_{ш}$ или уменьшить коэффициент ψ за счет обильной подачи охлаждающей жидкости в зону резания. Предлагается также вариант глубинного шлифования с увеличенной скоростью круга $V_{кр} > 300$ м/с (сверхвысокоскоростное глубинное шлифование).

Отмечается, что при $V_{кр} > 300$ м/с происходит уменьшение температуры шлифования θ в связи с тем, что основная часть выделяемого в зоне резания тепла уносится образующимися стружками.

Используя приведенные аналитические зависимости, важно проанализировать сущность предлагаемого решения. Из зависимости (8) следует, что с увеличением скорости круга $V_{кр}$ при фиксированных значениях $V_{дет}$ и t пара-

метр $a_{z_{max}}$ будет уменьшаться. Уменьшение толщины среза, т.е. параметр $a_{z_{max}}$, как известно, приведет к уменьшению коэффициента шлифования $K_{ш}$, что выразится в увеличении температуры шлифования θ в соответствии с зависимостью (3).

Возможно, при весьма больших значениях $V_{кр}$ произойдет некоторое увеличение $K_{ш}$ в связи с исключением связки круга из контакта с обрабатываемой поверхностью, и тогда температура шлифования θ будет уменьшаться. Возможно также снижение коэффициента ψ в связи с тем, что выделяемая теплота не будет успевать уходить в деталь, а будет уноситься стружкой. Как отмечалось выше, данный эффект может иметь место при условии $V_{кр} > 300$ м/с. При условии $V_{кр} < 300$ м/с, следуя зависимости (9), скорость круга $V_{кр}$ с увеличением глубины шлифования t (т.е. с переходом в область глубинного шлифования) необходимо уменьшать. В противном случае это приведет к увеличению температуры шлифования θ , что вытекает из зависимости (8): при условии $a_{z_{max}} = const$ с увеличением $V_{кр}$ увеличивается $V_{дет}$ и, в соответствии с зависимостью (4), увеличивается температура шлифования θ .

Этим, в частности, можно объяснить практические данные о высокой температуре шлифования θ при глубинном шлифовании, когда скорость круга устанавливается такой же, как и при многопроходном шлифовании. Исходя из зависимости (8), для реализации относительно большой скорости круга при глубинном шлифовании, сопоставимой или равной скорости круга при многопроходном шлифовании, необходимо увеличить зернистость круга A , уменьшить концентрацию круга k , повысить режущую способность круга – увеличить коэффициент шлифования $K_{ш}$, улучшить теплоотвод из зоны резания – уменьшить коэффициент ψ . Увеличить скорость круга $V_{кр}$ можно также за счет уменьшения S_{∂} , однако это связано с уменьшением производительности обработки Q (как это следует из зависимости (7)), что неэффективно, т.е. предпочтительно обработку производить с долевой продольной подачей S_{∂} , близкой к единице.

Таким образом, в работе теоретически вскрыты закономерности между производительностью и температурой при глубинном шлифовании, определены факторы, позволяющие уменьшить высокую температуру при глубинном шлифовании и реализовать значительные технологические возможности этого прогрессивного метода обработки.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 2. Якимов А.В. Высокопроизводительная обработка абразивно-алмазными инструментами / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов. – К.: Техніка, 1993. – 152 с. 3. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Новиков Григорий Васильевич. – Харьков, 1989. – 210 с.

ФОРМУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ПЛАСТИН КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ З НАНОКРИСТАЛАМИ $CdS_{1-x}Se_x$ ВКРАПЛЕНИМИ У МАТРИЦЮ З БОРОСИЛІКАТНОГО СКЛА

Проц Л.А., канд. техн. наук, доц.

(Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород, Україна),

Лавріненко В.І., докт. техн. наук, проф.

(Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, Київ, Україна)

Представлена робота відноситься до технології механічної обробки плоских поверхонь пластин при виготовленні робочих елементів квантових приладів, зокрема, оптичних деталей на базі композитних матеріалів з нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ вкрапленими у боросилікатну матрицю.

Ключеві слова: *формоутворення, плоска поверхня, заготовка, підкладка, оброблювана поверхня.*

Представленная работа относится к технологии механической обработки плоских поверхностей пластин при изготовлении рабочих элементов квантовых приборов, в частности, оптических деталей на базе композиционных материалов с вкрапленными в боросиликатную матрицу нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$.

Ключевые слова: *формообразование, плоская поверхность, заготовка, подкладка, обрабатываемая поверхность.*

The presented work relates to a technique of machining the flat surfaces of the plates during manufacture quantum devices working elements, in particular, optical components based on composite materials with $CdS_{1-x}Se_x$ nanocrystals embedded in a matrix of borosilicate.

Keywords: *formation, flat surface, blank, lining, the surface.*

Останні роки ідеї наноструктурного матеріалознавства і сам зміст поняття наноматеріали отримали широкий розвиток. Окрім традиційних наноматеріалів, до цих об'єктів відносять також нанопаівпровідники, нанополімери, нанопористі матеріали, численні вуглецеві наноструктури, нанобіоматеріали, супрамолекулярні структури і каталізатори тощо [1, 2]. В якості факторів які визначають фундаментальні властивості наноматеріалів що пов'язані з визначальною роллю межі розділу, відзначаються також розмірні ефекти та збіг розмірів кристалітів з характерними розмірами для різних фізичних явищ [3]. Останнім часом вважається, що верхня розмірна межа становить не кілька нанометрів, як передбачалося раніше [4-6], а з чисто умовних міркувань приймається рівним ~ 100 нм. Це пов'язано з тим, що численні дослідження виявили значні технічно цікаві зміни фізико-механічних властивостей наноматеріалів таких як міцність, твердість, коерцитивну силу та ін. в інтервалі розмірів зерен від декількох нанометрів до ~ 100 нм. Вважається, що зміну приведених властивостей обумовлює вплив розмірних ефектів [7, 8].

Одними з перспективних нано напівпровідникових матеріалів які останнім часом активно досліджуються на визначення фізико-механічних властивостей з метою практичного застосування, зокрема у пристроях з підвищеною

стійкістю до дії іонізуючого випромінювання, є композитні матеріали на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ [10]. Для проведення досліджень, вчасності спектрів резонансного раманівського розсіювання та оптичного поглинання нанокристалів $CdS_{1-x}Se_x$ у матриці з боросилікатного скла гостро стоїть проблема виготовлення з них плоско паралельних пластин. Виготовлення пластин товщиною до 1 мм відбувається шляхом проведення технологічних процесів механічної обробки, при цьому слід враховувати високі вимоги як до площинності так і до шорсткості та класу чистоти поверхні [11].

Відомо що при одиничному експериментальному виробництві виготовлення пластин з неметалевих матеріалів включало формування однієї площини оброблюваної заготовки, яка базувалася на металевій підкладці з плоскою поверхнею. На цю плоску металеву поверхню наносився шар термопластичного матеріалу, якій нагрівали до температури розм'якшення після чого до площини підкладки притискалася оброблювана заготовка плоскою стороною. Технологічні процеси шліфування та полірування іншої сторони оброблюваної заготовки поводити після охолодження [12]. Фіксування неметалевої заготовки на підкладці забезпечує більш точне виготовлення пластин заданої форми та розмірів. Однак, недоліком загально вживаного описаного способу є недостатня площинність поверхні при виготовленні тонких пластин, яка обумовлена різницею коефіцієнту лінійного розширення матеріалу неметалевої заготовки і металевій підкладки. Отже завданням роботи було підвищення точності формування плоскої поверхні пластин з неметалевих матеріалів, зокрема з композитних матеріалів на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$. Метою роботи було формування плоских поверхонь пластин композитних матеріалів з нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ вкраплених у матрицю з боросилікатного скла товщиною до 1 мм, шорсткістю близько $R_z \approx 0,023$ мкм, паралельністю $< 1'$ та площинністю 0,2 мкм.

Формування плоскої поверхні пластин з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ полягало у застосуванні запатентованого нами способу виготовлення пластин [13].

Суть роботи полягала у виготовленні однієї поверхні заготовки з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ та підкладці з аналогічного матеріалу з принаймні однією плоскою поверхнею [14].

Виготовляли пластини з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ прямокутної форми зі сторонами 10 x 7 мм і товщиною 1 мм. із заготовки товщиною 3 мм. Прямокутні заготовки зішліфовували до товщини 1,55 мм на інструменті А 1 4-0029 АС 6 125/100 100 М 1-01 який було закріплено на плоскошліфувальному верстаті з горизонтальним головним обертальним рухом інструмента. Підкладку для послідуєщих операцій виготовляли у вигляді циліндричної пластини діаметром 40 мм і висотою 5 мм. із однією шліфованою плоскою поверхнею з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$. На підкладку наносили клеювальну смолу на основі каніфолі, нагрівали підкладку із смолою і заготовки до 150°C, притискали заго-

товки плоскою стороною до плоскої поверхні підкладки і охолоджували до кімнатної температури. Заготовки зішліфовували до заданої товщини, після чого здійснювали полірування на полірувальниках із м'якою основою пастами спочатку АСМ 7/5, потім АСМ 5/3. Здійснювали контроль площинності до зняття заготовки із підкладки. Для цього нагрівали заготовку з підкладкою до 150° С, відокремлювали відполіровану заготовку, охолоджували до кімнатної температури, та промивали розчином C₂H₅ОН, після чого контролювали площинність отриманої поверхні інтерференційним методом. Відхилення від площинності не перевищували 0,2 мкм. Було проведено ряд досліджень по виготовленню 30 пластин з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами CdS_{1-x}Se_x. Встановлено, що як до, так і після відокремлення пластин від підкладки відхилення від площинності не перевищували 0,2 мкм. Слід зазначити що при застосуванні в якості підкладки пластини зі сталі марки ст.35 відхилення від площинності до відокремлення заготовки з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами CdS_{1-x}Se_x від підкладки не перевищувало 0,2 мкм а після відокремлення – 0,6 мкм. Таким чином, дослідження процесів формування плоских поверхонь описаним способом дає змогу більш точно дотримувати площинність при виготовленні пластин з неметалевих матеріалів. Шорсткість поверхонь досліджувалась на профілометрі і складала близько R_z ≈ 0,023 мкм. Паралельність досліджувалась на Гоніометрі Г-5 і не перевищувала 1'.

В результаті проведення запропонованих робіт по створенню робочих поверхонь з композитного матеріалу на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами CdS_{1-x}Se_x та допоміжних приладь з ідентичного матеріалу одержані плоскі пластини товщиною 1 мм, шорсткістю R_z < 0,05 мкм, паралельністю < 1' та площинністю 0,2 мкм.

Автори висловлюють велику подяку співробітникам ВМФ ІЕФ НАН України Гоммонаю О.В., Ажнюку Ю.М. та Лопушанському В.В. за надані для досліджень композитні матеріали на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами CdS_{1-x}Se_x

Список літератури: 1. Андрієвский Р. А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы / Р. А. Андрієвский // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева) – 2002.- Т. XLVI, №5. – С. 50 – 56. 2. Глезер А. М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы / А. М. Глезер // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. – 2002. - Т. XLVI, №5. – С. 57 -63. 3. Наноматериали і нанотехнології: навч. посібник / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовіцький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с. 4. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. / Под ред. М. С. Роко, В. С. Уильямса, П. Аливиатоса. Пер.с англ. под ред. Р. А. Андрієвского. - М.: Мир, 2002. - 292 с. 5. Петров Ю. И. Кластеры и малые частицы / Ю.И. Петров - М.: Наука, 1986. - 367 с. 6. Андрієвский Р. А. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. Особенности структуры / Р. А. Андрієвский, А. М. Глезер // Физ. мет. и металловедение. – 1999. – 88, № 1. – С. 50–73. 7. Патон Б. Е. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники // Автоматическая сварка – 2008. – № 12. – С. 5–12. 8. Фурман Е. Л. Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов ультрадисперсными порошками тугоплавких частиц / Е. Л. Фурман, С. Н. Жеребцов, В. И. Гур-

дин // Технология машиностроения. – 2007. – № 1. – С. 7–9. **9.** Колмаков А. Г., Баринов С.М., Алымов М.И. Основы технологий и применение наноматериалов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.– 208 с. . **10.** Ажнюк Ю.М. Оптична спектроскопія опромінених високоенергетичними електронами нанокристалів $CdS_{1-x}Se_x$ у боросилікатному склі / Ю.М. Ажнюк, Ю.І. Гутич, В.В Лопушанський, О.В.Гомоннай, І.І.Турок, Л.А.Проц // Міжнар. конф. [Нанорозмірні системи. Будова-властивості-технології. „НАНСИС 2007”], (Київ, 21-23 лист. 2007 р.) /Націонал. акад. наук. України – К.: Україна, 2007. – С. 291. **11.** Lopushansky V.V. Second- and Third-order Raman Scattering in Bulk and Glass-embedded Nanometric $CdS_{1-x}Se_x$ Crystals / V.V. Lopushansky // Journal of nano- and electronic physics. – 2014. – V. 6, No 04006. – P. 04006-1 – 04006-5 **12.** Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей / Рогов В. В. – Киев: Наук. думка, 1985. – 264 с. **13.** Патент на винахід № 94105 МПК(2011.01) В 24В 1/00, В 24В 37/04, В 24В 21/00. Спосіб виготовлення пластин/ Шпирко Г,Н, Рубіш В.Н., Проц Л.А., Ткаченко В.І. Ужгородський науково технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації Інститут проблем реєстрації інформації НАН України. 11.04.2011, заявл. 30.12.2008, опубл. 11.04.2011. Промислова власність, Бюл. №7. **14** Проц Л.А. Формування пластин із композитних матеріалів на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристаллами $CdS_{1-x}Te_x$ / Л.А. Проц, В.І. Лавріненко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016): матеріали тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції (26 – 29 квітня 2016 р., м. Чернігів). – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – с.104.

UDC 621.923

ABOUT SPECIAL FEATURES OF THE COMPONENT OVERHAUL OF THE LARGE-SIZED ISOLATION VALVE

Vodzianskiy V.V., Candidate of Science, assistant professor,
Vodzianskiy S.V., Master in field of Mechanical Engineering
(PHEI «Priazov State Technical University», Mariupol, Ukraine)

The methods of restoring the large-sized isolation valve components for the purpose of its endurance increase have been analyzed

Key words: *isolation valve, contact surface, precision work, smooths grinding, abrasives.*

Водзянский В.В., Водзянский С.В. Об особенностях ремонта деталей крупногабаритной запорной арматуры.

Проанализированы способы восстановления деталей крупногабаритной запорной арматуры с целью увеличения их долговечности.

Ключевые слова: *запорная арматура, контактные поверхности, прецизионная обработка, доводка, абразивные материалы.*

Водзянський В.В., Водзянський С.В. Про особливості ремонту деталей великогабаритної запірної арматури. *Проаналізовані способи відновлення деталей великогабаритної запірної арматури з метою підвищення їх довговічності.*

Ключові слова: *запірна арматура, контактні поверхні, прецизійна обробка, доводка, абразивні матеріали.*

The problem statement. Smooth grinding is the final method of surface machining that provides leak-resistance between the joints. The high quality surface is gained by means of smooth grinding according to the surface roughness parameter – $R_a = 0,005 - 0,025$ microns, according to the sharp accuracy parameter (with the flatness fault) in the range of 0,5 - 2 microns. Such requirements are specific for the sur-

faces of cylindrical, flat and spherical shapes that can be occurred in high-precision details of different machines and devices. Particularly it concerns the joint (working) surface of large-sized parts of isolation valve which are used in gas pipe line, steam piping and water supply to provide the leak-resistance of surface joints. In the conditions of plants using the isolation valve, the surface repair that can increase their endurance considerably causes the material difficulties and practically is not explored and, thus, should be investigated further and required engineering development

Besides the factors described above the minimization of overhaul prime cost is also very important. In case of replacement the worn-out isolation valve there is necessity to take nonrecurring costs for its purchasing within the scope of 5000-20000 UAH depending on the scales of service pipelines ($\text{Ø}300\text{-}\text{Ø}1200\text{mm}$). The overhaul of isolation valves using by the plant can reduce these costs considerably with no loss in quality.

The analysis of latest researches and publications. The smooth grinding of precision surfaces of the isolation valve large-sized details is not overlooked in the technical publications. Basically, the physical processes that appear during the smooth grinding of the precision surface, the influence of the different finishing materials on processing rate and the quality of the surface obtained are examined in reasonable detail [1, 2, 3, 4]. But those researches touch the comparatively inconsiderable parts of different shape and, mainly, in conditions of batch production for which the appropriate finishing machines were engineered. The researches of precision work of large sized surfaces in conditions of overhaul agency never been made. We assume the physical processes appear during the smooth grinding in such case will correlate good with processes appear while debugging small parts, but technological and structural support of the smooth grinding will differ from each other considerably.

The object of an article. This paper is aimed to undertake the preliminary study of precision surface smooth grinding for the large-sized parts of isolation valves ($\text{Ø}300\text{-}\text{Ø}1200\text{mm}$) in conditions of its overhaul at the plant that use it, because such preliminary studies never been organized and published.

The main treatment. We have researched and analyzed the joint surfaces damage in the range of valves having the same structural solution but different dimensional specifications (see the fig. 1a, b). Such valves worked out at an average of 4 years period in the different systems (gas pipe line, steam piping and water supply). The analysis showed the specific feature of the wear of the precision contact surfaces that provide unit with working capacity is different depending on the energy carrier type the valves engaged with.

While examining the contact surfaces of the valves used in gas pipe lines the surface wear appeared with specific feature of fretting, in other words, the lines with the depth of 0,05 mm and width of 26 mm appeared on the surface because the gas leaked through such surfaces.

While examining the joint surfaces of the valves used in steam piping it was found under $t \geq 450^\circ\text{C}$ steam leads to gulches appearance connected with the cavitating as well as to surface corrosion that brings the typical surface wear with the depth of 0,1 mm, width 20-25 mm.

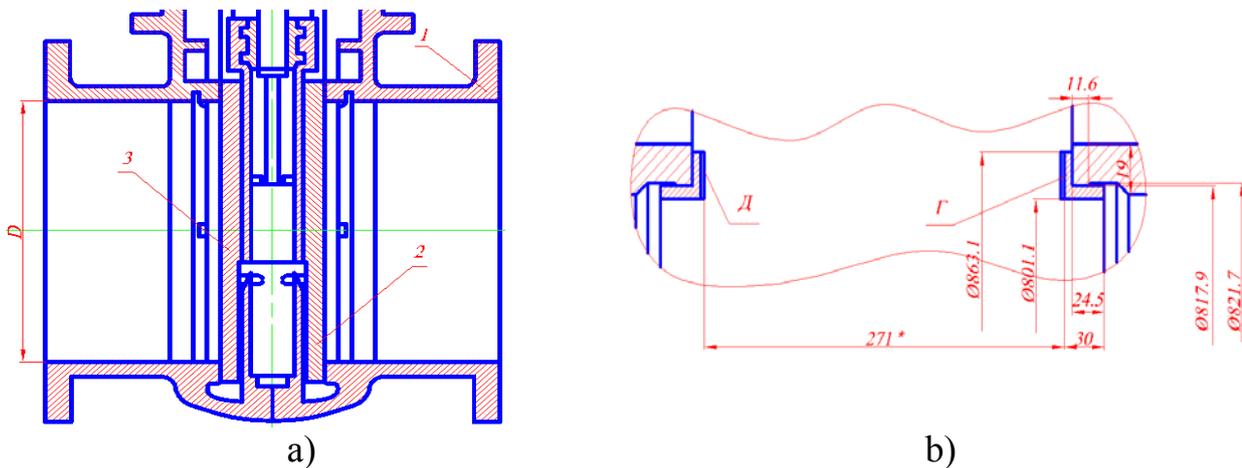


Fig. 1 – The pinch valve and the frame contact surfaces are to be grinded smoothly:

- a) the pinch valve structure: 1 – frame; 2 - right disc; 3 - left disc
- b) the surfaces A and G are to be grinded smoothly

While examining the surfaces of the pinch valves used in water supply systems we found out the furrows with depth $h \geq 0,3$ mm appeared on the surface coating because of the influence of the different abrasive particles, calcium, chalk, mud with small particles with diameter to 0,1 mm

Therefore, if all detected wear types are grouped, it is possible to make next final decision: taking into account small depth and wear variation the final polishing can be provided by smooth grinding with the help of different abrasives that should be selected in each specific case depending on work material of the pinch valve surface as well as on operational conditions for the valves. But, considering pinch valve surfaces have large size and uneven wear, at the first stage of worn-out surfaces recovering the preliminary preparing should be maintained by cutting with allowed deviation of flatness and undulation types.

As smooth grinding is the finishing operation of cutting the pinch valve precision fillets parts, the preliminary cutting should be maintained with possible undulation minimum. Presented sources [3] recommend work the surface for the undulation in the range of $R_a \leq 1,6$ microns due to provide effectiveness. Polishing or thin sharpening can produce such an effect. Thin sharpening is most appropriate because of the irregular shapes of large-sized and heavy-weight parts, so we recover the surface in such way. The parameters of surface work were next: $t = 0,1$ mm, $S = 0,04$ mm/rev, $V = 200$ m/min, $n = 80$ rpm.

Considering that during smooth grinding two ways (sharpening and polishing) can be maintained and in the end both bring the similar results by the parameter R , we used both (fig.2).

The smooth grinding was made by supplying the hard abrasives into contact zone between moving abrading tool 1 and stable work surface 5, and abrasives cut minute particles of parts material (fig.2).

The smooth grinding was made also by soft abrasives (pastes) providing cyclical composition of the sulfide film on the work place, the sulfide film appeared on the juvenile bare surface after cutting overhang combs by the abrasive grains. (fig. 3)

The second variant of smooth grinding with using the GOI polishing paste appeared to be more effective and helped to get work surface indulation $R = 0,02$ microns which is acceptable for providing the required hydraulic contact density of the valves.

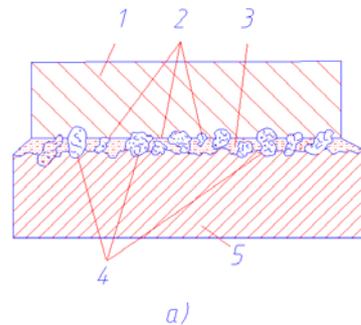


Fig. 2 – The smooth grinding with help of abrasives; 1- abrading tool; 2 – abrasive grains pieces; 3 – cutting emulsion; 4 – abrasive grains; 5 – work surface of the part

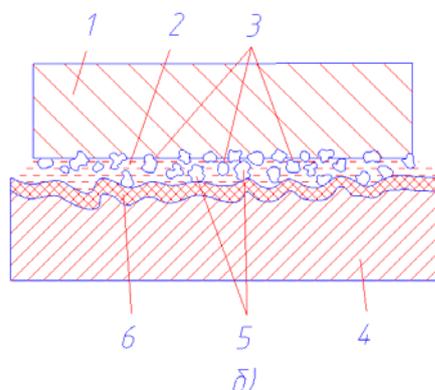


Fig. 3 – The smooth grinding with the help of GOI polishing paste; 1 – abrading tool; 2 – soft ingredients of the paste; 3 – hard ingredients of the paste; 4 – work part; 5 – grains that removed material coat; 6 – sulfide film

The range of other abrasive pastes was explored during the process of smooth grinding; also new structure of special polishing head was created and new technology for part cutting of such type in conditions of overhaul at the metallurgical plant was developed.

Conclusions. 1) Technological researches and cost estimates for overhaul of the large-sized isolation valve ($D = 800$ mm) mentioned above showed the high quality recovering of precision surfaces is possible in the conditions of metallurgical plant overhaul shops.

2) The implementation of the developed measures for recovering the valve precision surfaces instead of purchasing new one increases its endurance considerably and gives great cost impact – 10000 UAH for the 1 valve package.

Bibliography: 1. *Maslovsky V.V.* Honing and lapping works / *V.V. Maslovsky*. – M.: Vysshaya shkola, 1966. – 240 p. (Rus) 2. *Kremen Z.I.* Abrasive operational development / *Z.I. Kremen, A.I. Pavlyuchuk*. – L.: Mashinostroenie, 1967. – 114 p. (Rus) 3. *Gridnev V.N.* Precision details operational development mechanization in small-scale production / *V.N. Gridnev, A.Z. Ramm*. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 70 p. (Rus) 4. *Yascheritsyn L.I.* Surface quality and details accuracy when processing by abrasive tools / *L.I. Yascheritsyn*. – Minsk: Gosizdat BSSR, 1959. (Rus)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛИРОВАНИЕМ

Шкурупий В.Г., канд. техн. наук, доц.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

В статье приведены рекомендации по использованию процесса полирования поверхностей деталей из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: процесс полирования, детали из алюминиевых сплавов, критерий шероховатости поверхности, контактная разность потенциалов

В статті наведено рекомендації з використання процесу полірування поверхонь деталей із алюмінієвих сплавів.

Ключові слова: процес полірування, деталі з алюмінієвих сплавів, критерій шорсткості поверхні, контактна різниця потенціалів

The paper provides recommendations on the use of the process of polishing surfaces of aluminum alloys

Keywords: process of polishing of aluminum alloy parts, the criterion of surface roughness, the contact potential difference

Известно, что при полировании основной задачей является сглаживание неровностей на поверхности.

Ряд деталей имеют поверхности, для которых оценка высотных параметров шероховатости поверхности недостаточна, так как и она не отражает соответствия требованиям эксплуатации. Особенно это относится к деталям летательных аппаратов. Ряд деталей должны иметь высокую отражательную способность поверхностей, а ряд деталей высокую светопоглощательную способность (детали наружных оболочек приборов ЛА, детали терморегулирующих устройств и др.). Анализ литературных данных позволил построить зависимость оптических характеристик от методов обработки (рис. 1).

Методы обработки определяют пределы изменения оптических характеристик и дают возможность выбрать метод обработки деталей летательных аппаратов. Для оценки влияния методов обработки на поверхностный слой, нами произведена оценка критерия шероховатости поверхности F и работы выхода электронов (КРП) для деталей из сплава АМг6 (рис. 2).

Установлено: при предварительной обработке поверхностей деталей с целью достижения минимальных значений высотных параметров шероховатости поверхности контроль обработанной поверхности необходимо осуществлять путем оценки критерия шероховатости поверхности, а после финишных методов обработки, контроль обработанной поверхности необходимо осуществлять путем оценки работы выхода электронов (оценки значений контактной разности потенциалов – КРП).

Нами установлен характер изменения оптических характеристик и параметров поверхности от методов обработки деталей из сплава АМг6 (рис. 3). Та-

кой характер изменения подтверждает предварительные выводы по контролю поверхностей после обработки.

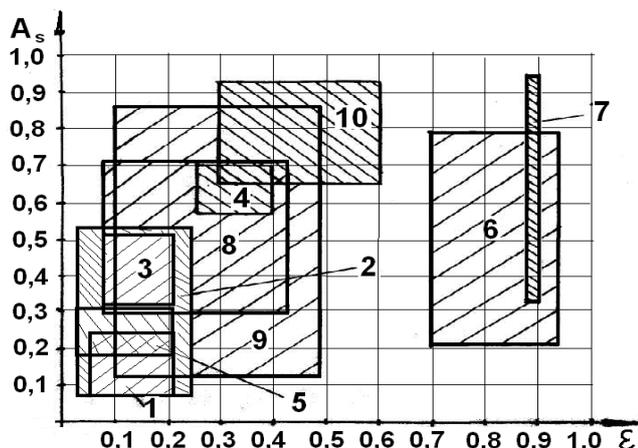


Рис. 1 – Зависимость оптических характеристик от методов обработки деталей из алюминиевых сплавов:

1 – абразивное полирование; 2 – лезвийная обработка и поверхностное пластическое деформирование; 3 – шлифование; 4 – обработка металлической дробью; 5 – химическое и электрохимическое полирование; 6 – анодное окисление; 7 – толстослойное анодирование; 8 – химическое оксидирование; 9 – термическое оксидирование; 10 – электроискровое легирование



Рис. 2 – Зависимость критерия шероховатости поверхности и КРП от методов обработки деталей из сплава АМгб:

1 – прокат; 2 – обработка металлической дробью; 3 – гидроабразивная обработка; 4 – фрезерование твердосплавной фрезой; 5 – фрезерование фрезой из эльбора; 6 – точение твердосплавным резцом; 7 – полирование алмазное; 8 – выглаживание; 9 – микроточение алмазным резцом

Классификация методов обработки по технологическому воздействию показала, что абразивное полирование можно отнести к технологическим системам, связанным с незначительным изменением вещества в поверхностных слоях деталей (рис. 4, рис. 5), а классификация способов обработки по характеру воздействия на предмет труда показывает, что малоизученным является реализация процесса полирования высокоскоростным перемещением рабочей среды относительно обрабатываемой поверхности.



Рис. 3 – Характер изменения светоотражательной способности и параметров поверхности от методов обработки деталей из сплава АМГ-6: 1 – прокат; 2 – гидроабразивная обработка; 3 – обработка металлической дробью; 4 – фрезерование твердосплавной фрезой; 5 – фрезерование фрезой из эльбора; 6 – точение твердосплавным резцом; 7 – алмазное полирование; 8 – выглаживание; 9 – алмазное точение

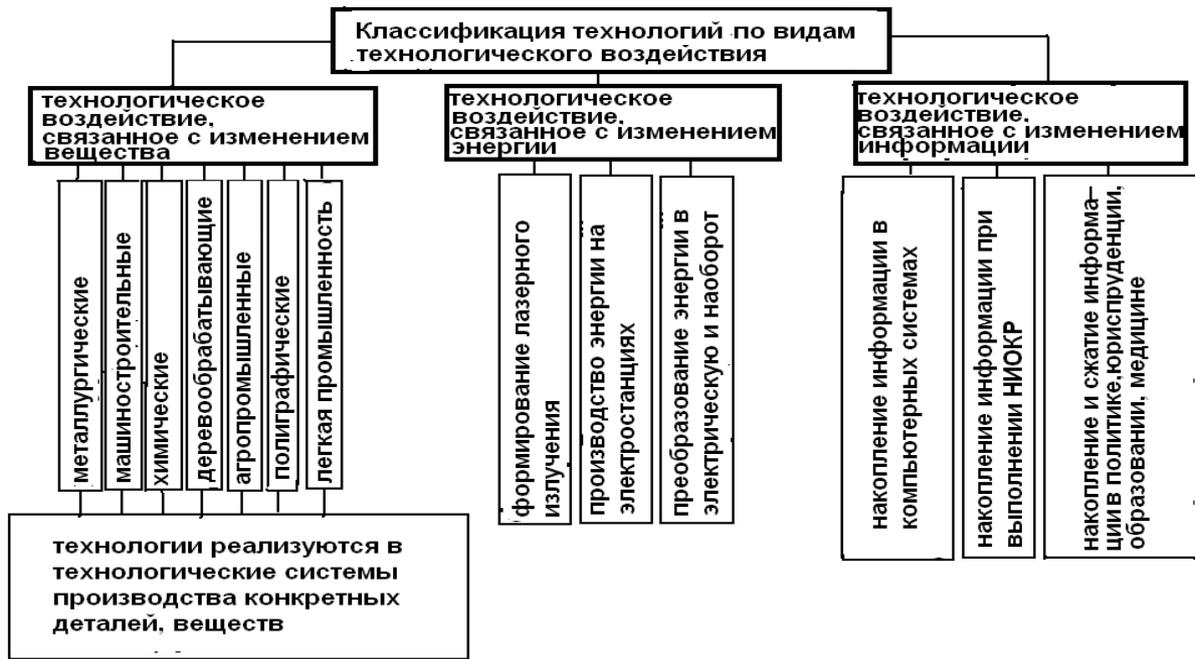


Рис. 4 – Классификация технологий по характеру воздействия на предмет труда



Рис. 5 – Классификация способов обработки свободными абразивами по характеру воздействия абразивной частицы

Поэтому в качестве основной схемы обработки была принята схема финишной обработки (рис. 6) с использованием дистиллированной воды и нанопорошка Al_2O_3 .



Рис. 6 – Схема полирования суспензией на основе ультрадисперсного порошка

Изучение изменения параметров шероховатости поверхности в процессе полирования показало, что стабилизация значений высотного параметра шероховатости R_a происходит значительно быстрее, чем R_{max} .



Рис.7 – След единичного зерна

Это, по-видимому, связано с наличием в составе абразивного порошка крупнозернистой доли фракции, а также участием в обработке зерен, подвергшихся дроблению и появлением в результате этого острых кромок, след которых при микроцарапании (рис. 7) увеличивает отношение R_{max}/R_a . После полирования, изменение опорной кривой показывает незначительные уменьшения угла при вершине опорной кривой и уменьшение разброса значений t_p по высоте профиля.

Светоотражательная способность при этом достигает максимальных значений (при условии очистки поверхности от загрязнений).

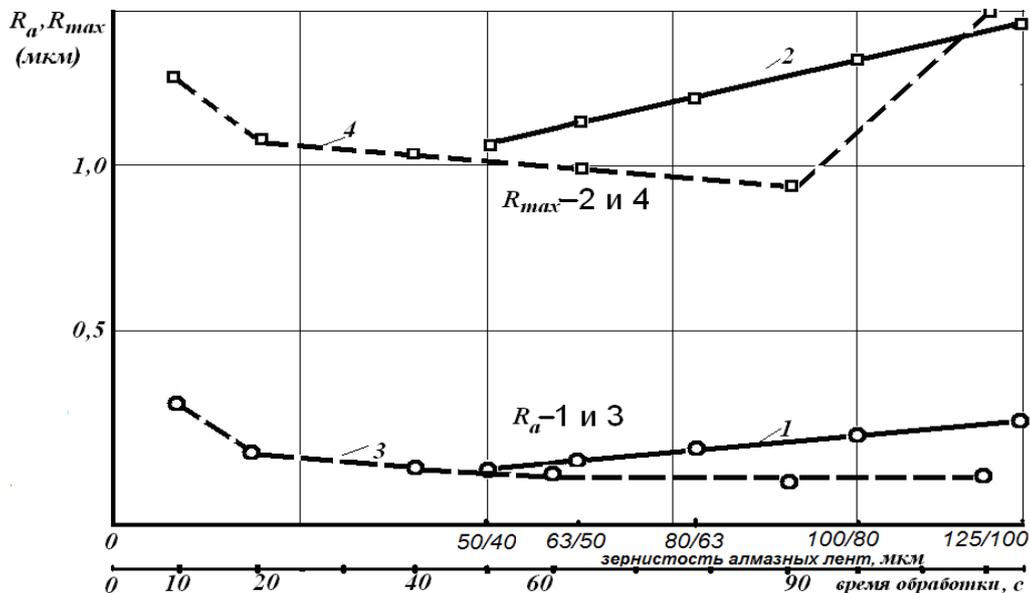


Рис. 8 – Влияние зернистости алмазных лент 1, 2 и продолжительности обработки 3 и 4 на интенсивность изменения значений высотных параметров шероховатости поверхности (режим обработки): давление 4 МПа; скорость 35 м/с; продолжительность обработки 20 с для 1 и 2; зернистость абразива лент для 3 и 4 – АСМ 50/40

Установлено, что при предварительной обработке шлифованием отношение R_a / R_{max} при более высоких значениях R_a возрастает в два раза (при этом исходное значение R_a больше в 5 раз). Это можно объяснить повышением интенсивности роста R_{max} по сравнению с R_a за счет увеличения количества близких по размерам неровностей. С увеличением значений параметра шероховатости R_a для исходных образцов после их обработки значения R_{max} растут более интенсивно по сравнению с R_a (рис. 8, рис. 9).

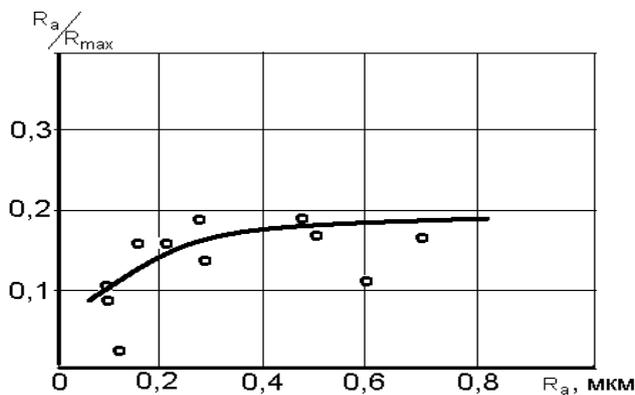


Рис. 9 – Изменение отношения высотных параметров шероховатости поверхности при шлифовании перед полированием

Полирование поверхностей деталей необходимо выполнять в несколько этапов с использованием микропорошков различной зернистости. Эффективность абразивной обработки увеличивается при последовательном применении абразива зернистостью равной достигнутому значению R_{max} на предшествующем этапе. Применение на окончательных переходах овализированных зерен увеличит эффективность обработки за счет увеличения количества перекатывающихся зерен, что приводит к сглаживающему эффекту. Сглаживание поверхностного слоя

следует проводить поэтапно, снижая зернистость абразива. Отношение высотных параметров шероховатости поверхности R_a / R_{max} может быть использовано для контроля дефектов поверхности после применения финишных процессов обработки, обеспечивая при этом максимальное значение работы выхода электронов (КРП – контактной разности потенциалов).

Выводы. 1. Применяемые в промышленности процессы абразивной обработки и практические рекомендации по их эффективному использованию не обеспечивают требуемого сглаживания неровностей поверхности и достижения весьма малых значений высотных параметров шероховатости поверхности деталей с оптическими характеристиками.

2. Перспективными направлениями дальнейшего развития абразивной обработки с целью достижения сверхгладких поверхностей деталей с оптическими характеристиками следует рассматривать метрологическое обеспечение контроля качества обработки, выбор соответствующей технологической среды и разработка системы управления процессом формообразования поверхностных слоев деталей.

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 2. Цеснек Л.С. Механика и микрофизика истирания поверхностей / Л.С. Цеснек. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с. 3. Шубников А. В. Элементарные механические явления при шлифовании и полировании / А.В. Шубников. – М.: Изд. АН СССР. – Сб.: Качество поверхности деталей машин, 1957, №3. – С. 32–35. 4. Ваксер Д. Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании / Д.Б. Ваксер. – М.–Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1964. – 176 с. 5. Кащеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел / В.Н. Кащеев. – М.: Наука, 1970. – 247 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА-ПОЛИРОВАЛЬНИКА И ОБРАБАТЫВАЕМОГО МЕТАЛЛА ПРИ АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ

Шкурупий В.Г., канд. техн. наук, доц., **Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук, проф.
(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Теоретически определены условия, при которых абразивное зерно не будет перекатываться, а прочно удерживаться в инструменте-полировальнике и осуществлять процесс полирования. Расчетами установлено, что в случае моделирования абразивного зерна в форме двух конусов, которые внедряются в материал инструмента-полировальника и обрабатываемый металл, тангенциальные усилия, возникающие в материале инструмента-полировальника и обрабатываемом металле, будут приблизительно равны. Поэтому абразивные зерна с одинаковой вероятностью могут как перекатываться в зоне обработки, так и удерживаться в материале инструмента-полировальника и совершать полезную работу. Даны практические рекомендации.

Ключевые слова: абразивное полирование, инструмент-полировальник, абразивные зерна, сила резания, прочность на сжатие материала, обрабатываемый материал.

Теоретично визначено умови, за яких абразивне зерно не буде перекочуватися, а утримуватися в інструменті-полірувальнику і здійснювати процес полірування. Розрахунками встановлено, що в разі моделювання абразивного зерна в формі двох конусів, які впроваджуються в матеріал інструмента-полірувальника і оброблюють метал, тангенціальне зусилля, що виникає в матеріалі інструмента-полірувальника і в оброблюваному металі, будуть приблизно рівні. Тому абразивні зерна з однаковою ймовірністю можуть як перекочуватися в зоні обробки, так і утримуватися в матеріалі інструмента-полірувальника і виконувати корисну роботу. Надано практичні рекомендації.

Ключові слова: абразивне полірування, інструмент-полірувальник, абразивні зерна, сила різання, міцність на стиск матеріалу, матеріал, що оброблюється.

In theory, it defines the conditions under which the abrasive grain will not roll, and held firmly in the tool-up pad and carry out polishing process. The calculations revealed that in the case of abrasive grain simulation in the form of two cones that are embedded in the tool, polishing pad material and processed metal, tangential forces occurring in the material and the polishing tool-treated metal will be approximately equal. Therefore, abrasive grains with equal probability may be rolled into a processing zone and be retained in the material of the polishing tool, and perform useful work. Practical recommendations.

Keywords: abrasive polishing, polishing tool, the abrasive grains, cutting force, the compressive strength of the material, the material being processed.

Постановка проблемы. Абразивное полирование является одним из основных методов финишной абразивной обработки. Условием осуществления съема металла и формообразования поверхностей при абразивном полировании следует рассматривать возможность достаточно прочного удержания абразивных зерен в материале инструмента-полировальника. Если материал инструмента характеризуется высокой твердостью, то, очевидно, абразивное зерно не сможет в него внедриться и удержаться в нем в процессе обработки. Оно будет перекатываться, фактически не совершая съем обрабатываемого материала. По-

этому материал инструмента следует выбирать достаточно пластичным, обеспечивающим внедрение (шаржирование) в него абразивного зерна и удержание его с силой, достаточной для осуществления процесса микрорезания. В связи с этим в работе решается задача повышения прочности удержания абразивных зерен в материале инструмента-полировальника.

Физические основы и технологические возможности абразивного полирования рассмотрены в работах [1–3]. Однако в этих работах приведены в основном результаты экспериментальных исследований процесса полирования, что ограничивает возможности его дальнейшего совершенствования с точки зрения повышения производительности и качества обработки. Поэтому необходимо провести теоретический анализ условий обеспечения прочного удержания абразивных зерен в материале инструмента-полировальника и разработать практические рекомендации для их осуществления. Целью работы является обоснование условий обеспечения прочного удержания абразивных зерен в материале инструмента-полировальника для осуществления высокопроизводительного съема материала и высококачественной обработки при абразивном полировании.

Основной материал. Для аналитического описания процесса взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемым металлом и материалом инструмента рассмотрена расчетная схема (рис. 1), в которой под действием радиального усилия P_{y0} абразивное зерно внедряется в обрабатываемый металл на глубину a и в материал инструмента на глубину a_1 [4, 5].

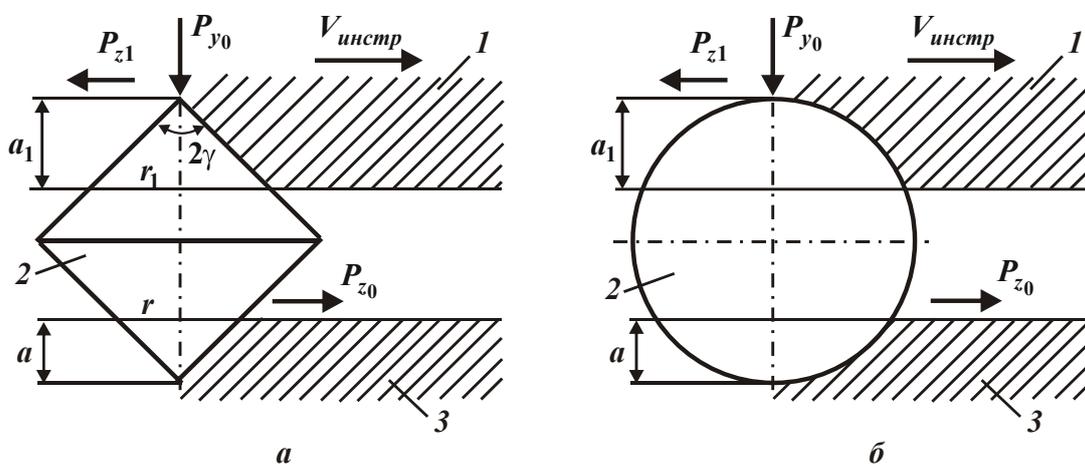


Рис. 1 – Расчетные схемы взаимодействия абразивного зерна 2 в форме двух спаренных конусов (а) и в форме сферы (б) с материалом инструмента-полировальника 1 и с обрабатываемым материалом 3.

Для определения глубин a и a_1 необходимо знать площади контакта абразивного зерна с обрабатываемым металлом $F_{конт}$ и с материалом инструмента $F_{конт1}$. С целью упрощения расчетов первоначально рассмотрено абразивное зерно в форме двух спаренных между собой конусов с углами при вершинах 2γ . Тогда, исходя из рис. 1, получено

$$F_{конт} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot a^2; \quad (1)$$

$$F_{\text{конт1}} = \pi \cdot r_1^2 = \pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a_1^2, \quad (2)$$

где $r = \text{tg} \gamma \cdot a$; $r_1 = \text{tg} \gamma \cdot a_1$ – радиусы площадей $F_{\text{конт}}$ и $F_{\text{конт1}}$, м.

Твердости обрабатываемого металла HV (по Виккерсу) и материала инструмента HV_1 определяются зависимостями:

$$HV = \frac{P_{y0}}{F_{\text{конт}}} = \frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a^2}; \quad (3)$$

$$HV_1 = \frac{P_{y0}}{F_{\text{конт1}}} = \frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a_1^2}. \quad (4)$$

Решая зависимости (3) и (4) относительно глубин a и a_1 , получено:

$$a = \sqrt{\frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV}}; \quad (5)$$

$$a_1 = \sqrt{\frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV_1}}. \quad (6)$$

Как видно, чем больше угол γ , твердости обрабатываемого металла HV и материала инструмента HV_1 , тем меньше глубины внедрения абразивного зерна в обрабатываемый металл a и в материал инструмента a_1 . Чтобы абразивное зерно глубже внедрилось в материал инструмента и прочнее в нем удерживалось в процессе обработки, необходимо уменьшать твердость материала инструмента HV_1 . Это позволит увеличить тангенциальное усилие P_{z1} , с которым абразивное зерно будет удерживаться в инструменте-полировальнике. Тангенциальное усилие P_{z1} можно выразить:

$$P_{z1} = K_{\text{рез1}} \cdot P_{y0}, \quad (7)$$

где $K_{\text{рез1}}$ – коэффициент, численно равный коэффициенту резания.

Очевидно, чем больше коэффициент $K_{\text{рез1}}$, тем больше тангенциальное усилие P_{z1} и прочнее будет удерживаться абразивное зерно. Принимая условие $HV_1 < HV$ с учетом зависимостей (5) и (6) получено:

$$\frac{a_1}{a} = \sqrt{\frac{HV}{HV_1}}. \quad (8)$$

Из данного соотношения вытекает условие: $a_1 > a$. При перемещении абразивного зерна со скоростью инструмента $V_{\text{инстр}}$ произойдет процесс микрорезания обрабатываемого металла. Возникающая при этом тангенциальная составляющая силы резания P_{z0} будет подчиняться зависимости:

$$P_{z0} = K_{\text{рез0}} \cdot P_{y0}. \quad (9)$$

Коэффициент резания $K_{\text{рез0}}$ с физической точки зрения не должен превышать значение коэффициента $K_{\text{рез1}}$, входящего в зависимость (7). В противном случае будет справедливо условие $P_{z0} > P_{z1}$, в результате чего зерно не

сможет прочно удерживаться в материале инструмента, будет перекашиваться, что исключает процесс микрорезания обрабатываемого металла. Иными словами, для осуществления процесса микрорезания обрабатываемого металла должно выполняться условие $P_{z_0} < P_{z_1}$.

Учитывая то, что абразивное зерно с одинаковой вероятностью может осуществлять процесс микрорезания как обрабатываемого металла, так и материала инструмента-полировальника, то для выполнения условия $P_{z_0} < P_{z_1}$, исходя из зависимостей (7) и (8), необходимо выполнить условие $K_{рез_0} < K_{рез_1}$. В работе [6] показано, что условное напряжение резания σ при микрорезании единичным зерном может быть описано зависимостью:

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{\operatorname{tg}\left[45^{\circ} - \frac{(\psi + \gamma)}{2}\right]} = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}}, \quad (10)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого металла, Н/м²; ψ – условный угол трения передней поверхности режущего зерна с металлом ($\operatorname{tg}\psi = f$ – коэффициент трения); γ – условный передний угол зерна.

Из зависимости (10) следует, что чем больше углы ψ и γ , тем больше условное напряжение резания σ . Это согласуется с практикой абразивной обработки, согласно которой образование площадок износа на абразивных зернах ($2\gamma \rightarrow 180^{\circ}$) позволяет уменьшить шероховатость поверхности (обеспечивает сглаживание микронеровностей на обрабатываемой поверхности) за счет увеличения условного напряжения резания σ при полировании с фиксированным радиальным усилием P_y .

С другой стороны, чтобы снизить силовую напряженность процесса и повысить производительность обработки, наоборот, необходимо условное напряжение резания σ уменьшать, уменьшая углы ψ и γ . Следовательно, имеют место противоположные требования к параметру σ в зависимости от решаемой задачи: обеспечение уменьшения шероховатости поверхности или повышение производительности обработки. С целью уменьшения шероховатости поверхности параметр σ необходимо увеличивать, а с целью повышения производительности обработки, наоборот, уменьшать за счет обеспечения высокой остроты режущих зерен и снижения интенсивности трения в зоне резания. Очевидно, увеличение параметра σ предполагает увеличение тангенциальной составляющей силы резания P_{z_0} и поэтому для выполнения условия $P_{z_0} < P_{z_1}$ (соответственно условия $K_{рез_0} < K_{рез_1}$) требуется увеличивать силу P_{z_1} , повышая прочность удержания абразивного зерна в материале инструмента-полировальника.

Для анализа условия $K_{рез_0} < K_{рез_1}$ следует разрешить зависимость (10) относительно коэффициента резания $K_{рез}$. В результате получено:

$$K_{рез} = 2 \cdot \operatorname{tg}\left[45^{\circ} - \frac{(\psi + \gamma)}{2}\right]. \quad (11)$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (11) значения $K_{рез}$.

Таблица 1

Расчетные значения коэффициента резания $K_{рез}$

$(\psi + \gamma)$, град	30	45	60	70	90
$K_{рез}$	0,577	0,424	0,268	0,184	0

Применительно к процессам микрорезания абразивным зерном обрабатываемого металла и материала инструмента-полировальника, коэффициенты резания $K_{рез0}$ и $K_{рез1}$ аналитически опишутся:

$$K_{рез0} = 2 \cdot \operatorname{tg} \left[45^{\circ} - \frac{(\psi_0 + \gamma)}{2} \right]; \quad (12)$$

$$K_{рез1} = 2 \cdot \operatorname{tg} \left[45^{\circ} - \frac{(\psi_1 + \gamma)}{2} \right], \quad (13)$$

где ψ_0 , ψ_1 – условные углы трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом и материалом инструмента-полировальника.

Очевидно, для того чтобы выполнить условие $K_{рез0} < K_{рез1}$, необходимо чтобы угол ψ_0 был больше угла ψ_1 . С учетом соотношений $\operatorname{tg} \psi_0 = f_0$; $\operatorname{tg} \psi_1 = f_1$ (где f_0 , f_1 – коэффициенты трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом и материалом инструмента-полировальника) должно выполняться условие $f_0 > f_1$. Однако, обеспечить выполнение данного условия сложно, поэтому одновременно будут происходить процессы микрорезания абразивным зерном обрабатываемого металла и материала инструмента-полировальника, т.е. фактически с одинаковой интенсивностью будет изнашиваться инструмент и производиться сьем обрабатываемого металла.

В реальных условиях процесс абразивного полирования осуществляется зернами, имеющими геометрическую форму, близкую к сфере. Поэтому рассмотрены закономерности взаимодействия зерна в форме сферы с обрабатываемым металлом и материалом инструмента-полировальника при условии, что на зерно при полировании действует радиальное усилие P_{y0} (рис. 1). В [6] установлено, что условное напряжение резания σ и коэффициент резания $K_{рез}$ применительно к процессу микрорезания зерном в форме сферы описываются:

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{\left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} \right)} = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез0}}; \quad (14)$$

$$K_{рез0} = 2 \cdot \left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} \right), \quad (15)$$

где a – толщина среза, м; R – радиус абразивного зерна, м.

При таком представлении процесса микрорезания условное напряжение резания σ тем меньше, чем больше отношение a/R и меньше условный угол трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом ψ_0 .

Коэффициент резания $K_{рез}$, наоборот, тем меньше, чем меньше a/R и больше условный угол трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом ψ_0 . Зависимости (14) и (15) справедливы при микрорезании обрабатываемого металла. При микрорезании материала инструмента-полировальника зависимость (15) примет вид:

$$K_{рез1} = 2 \cdot \left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\psi_1}{2} \right). \quad (16)$$

Как видно, зависимости (15) и (16) отличаются условными углами трения ψ_0 и ψ_1 , поскольку коэффициенты трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом f_0 и материалом инструмента-полировальника f_1 различны. Для того чтобы выполнялось условие $K_{рез0} < K_{рез1}$ необходимо выполнить условие $f_0 > f_1$. Это соответствует приведенному выше решению, полученному при моделировании абразивного зерна в форме двух спаренных между собой конусов (рис. 1,а).

Из зависимостей (15) и (16) вытекает важный вывод, связанный с тем, что чем больше отношение a/R , тем больше коэффициент резания. Учитывая то, что глубина внедрения абразивного зерна в материал инструмента-полировальника больше глубины внедрения зерна в обрабатываемый металл, то, очевидно, выполняется условие $K_{рез0} < K_{рез1}$. Из этого вытекает, что при микрорезании абразивным зерном в форме сферы будет гарантированно выполняться условие $P_{z0} < P_{z1}$, а это обеспечит достаточно прочное удержание зерна в инструменте-полировальнике и позволит осуществить процесс съема обрабатываемого металла.

Выводы. В работе теоретически определены условия, при которых абразивное зерно не будет перекатываться в зоне обработки, а прочно удерживаться в материале инструмента-полировальника и осуществлять процесс резания и съема металла с обрабатываемой поверхности. Расчетами установлено, что в случае моделирования абразивного зерна в форме двух конусов, которые внедряются в материал инструмента-полировальника и обрабатываемый металл, тангенциальные усилия, возникающие в материале инструмента-полировальника и обрабатываемом металле, будут приблизительно равны. Поэтому абразивные зерна с одинаковой вероятностью могут как перекатываться в зоне обработки, так и удерживаться в материале инструмента-полировальника и совершать полезную работу. При моделировании абразивного зерна в форме сферы за счет особенностей процесса резания (стружкообразования) тангенциальное усилие, возникающее в обрабатываемом металле, будет меньше тангенциального усилия, возникающего в материале инструмента-полировальника. Поэтому в данном случае вероятность удержания зерна в инструменте выше и выше эффективность процесса абразивного полирования. При этом доказано, что прочность удержания абразивного зерна в материале инструмента-полировальника зависит от отношения твердости и прочности на сжатие мате-

риала. Это позволяет научно обоснованно подойти к выбору необходимого материала инструмента-полировальника.

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 2. Шубников А. В. Элементарные механические явления при шлифовании и полировании / А.В. Шубников // Качество поверхности деталей машин. – М.: Изд. АН СССР, 1957. – №3. – С. 32–35. 3. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий. – Киев: Наук. думка, 1979. – 244 с. 4. Шкурупий В.Г. Изучение механизма формирования поверхности при обработке резанием / В.Г. Шкурупий // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 5. – Харків: НТУ “ХП”, 2010. – С. 114–121. 5. Шкурупий В.Г. Исследование процесса полирования свободным абразивом / В. Г. Шкурупий // Вісник НТУ “ХП”. Збірник наукових праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ “ХП”. – 2016. – № 5 (1177). – С. 87–89. 6. Андिलाхай А.А. Научные основы эффективной отделочной абразивной обработки деталей затопленными струями: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / А.А. Андилахай. – Одесса, 2013. – 47 с.

УДК 621.91:621.7937

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ПОЗДОВЖНЬОМУ ТОЧІННІ НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ

Кустов В. В., канд. техн. наук

(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна)

Досліджено процес поздовжнього точіння покриття, напиленого електродуговою металізацією, та складено оптимізаційну математичну модель технологічного процесу механічної обробки різанням. Графічним методом визначено значення оптимальних режимів: швидкості різання та подачі.

Ключові слова: напилене покриття, процес точіння, математична модель, технічні обмеження, собівартість, оптимальні режими різання

Исследован процесс продольного точения покрытия, напыленного электродуговой металлизацией, и составлена оптимизационная математическая модель технологического процесса механической обработки резанием. Графическим методом определены значения оптимальных режимов: скорости резания и подачи.

Ключевые слова: напыленное покрытие, процесс точения, математическая модель, технические ограничения, себестоимость, оптимальные режимы резания

The process of longitudinal turning coating deposited electrodului metallization and structured optimization mathematical model of technological process of machining and cutting process. A graphical method is determined by the value of the optimum modes of cutting, speed and feed.

Key words: coating, process of turning, the mathematical model, technical limitations, cost, optimal modes of cutting

Однією із характерних ознак сучасного машинобудівного виробництва є застосування функціонально-орієнтованих технологій, принципи яких використовуються на різних етапах виготовлення продукції, починаючи від стадії одержання заготовок, виготовлення деталей і до складання виробів. Важливим напрямком

використання цих технологій є процеси утворення захисних покриттів і, зокрема, покриттів, які отримують методами газотермічного напилення (ГТН) [1].

Захисні покриття, які сформовані методами ГТН і, зокрема, електродуговою металізацією, знаходять досить широке застосування в техніці з метою покращення властивостей робочих поверхонь деталей машин як при виготовленні, так і при відновленні під час ремонту. В сучасних умовах неухильного зростання вимог до якісних показників поверхонь деталей, відповідно підвищуються вимоги і до якості покриттів, які в багатьох випадках вимагають подальшої механічної обробки різанням з метою отримання необхідної шорсткості та точності робочих поверхонь за умов одночасного зменшення собівартості процесу виготовлення [2, 3]. Ефективним засобом вирішення даної проблеми є оптимізація технологічного процесу механічної обробки і, зокрема, режимів різання шляхом побудови математичної моделі [3, 4].

В роботі було поставлено завдання скласти оптимізаційну математичну модель процесу точіння напиленого електродуговою металізацією покриття із сталі 45 на робочу поверхню вала.

Характеристики готової деталі: зовнішній діаметр $d = 75h8$, величина шорсткості $R_a = 2,5$ мкм, глибина різання $t = 0,5$ мм, довжина обробки $l = 300$ мм. Оптимізацію проводили за частотою обертання шпинделя n , хв^{-1} і за величиною поздовжньої подачі S , мм/об.

Для побудови моделі, як відомо, задають технічні обмеження, якими в нашій роботі були: по стійкості інструменту – прохідного різця, оснащеного пластиною з твердого сплаву Т15К6; по потужності привідного електродвигуна токарного верстату моделі 16К20Ф3; по найменшій і найбільшій швидкості різання та подачі (поздовжній) відповідно; по точності обробки; по шорсткості обробленої поверхні. Критерієм оптимальності прийнято оціночну функцію, в якості якої виступила мінімальна собівартість $F_{min} = \frac{c}{n \cdot S}$, де c – коефіцієнт, що не залежить від режимів різання.

Технічні обмеження привели шляхом логарифмування до лінійного вигляду і представили їх як систему нерівностей. Отримана система нерівностей разом з оціночною функцією, теж пролагарифмованою, утворили математичну модель процесу поздовжнього точіння покриттів. Визначення чисельних значень оптимальних режимів: швидкості різання та подачі здійснили графічним методом.

Список літератури: 1. Кустов В. В. Аналіз точності токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні втулок / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як // Вісник КрНУ імені Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1, Ч. 1 (90). – С. 86–93. 2. Кустов В. В. Оцінка точності механічної обробки деталей з напиленим покриттям / В. В. Кустов // Прогресивні технології в машинобудуванні : III Всеукраїнська наук.-техн. конф. Національний університет «Львівська політехніка», 2 – 6 лютого 2015 р.: Збірник наукових праць, 2015. – С. 66–67. 3. Горанский Г. К. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ / Г. К. Горанский, Е. В. Владимиров, Л. Н. Ламбин. – М.: Машиностроение, 1970. – 224 с. 4. Роп'як Л. Я. Оптимізація режимів різання при шліфуванні деталей з хромовим покриттям / Л. Я. Роп'як, В. В. Остапович // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2015. – Вип. 37. – С. 113–121.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОФИЛЬНОГО ЗУБОШЛИФОВАНИЯ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф.

(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

Лищенко Н. В., канд. техн. наук, доц.

(Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина)

Ковальчук А.Н., канд. техн. наук

(ПАО «Харьковский машиностроительный завод «Свет шахтера», Харьков, Украина)

Показано, що процес шліфування, представлений одним з елементів технологічної системи, визначається сукупністю вхідних параметрів, збуреннями, що діють, та системними механізмами, що взаємно впливають один на одного – механізмами шліфування поверхні та зносу шліфувального круга.

Ключові слова: *система, параметри, вхід, стан, вихід, моніторинг, технологічна діагностика.*

Показано, что процесс шлифования, представленный одним из элементов технологической системы, определяется совокупностью входных параметров, действующими возмущениями и взаимно влияющими друг на друга системными механизмами: шлифования поверхности и износа шлифовального круга.

Ключевые слова: *система, параметры, вход, состояние, выход, мониторинг, технологическая диагностика.*

It is shown that the grinding process which is presented by one of the grinding system elements is determined by a set of input parameters, the acting disturbances and mutually affected on each other systemic mechanisms: surface grinding and grinding wheel wear.

Keywords: *system, parameters, input, state, output, monitoring, process diagnostics.*

Теория технических систем охватывает системы-конструкции и системы-процессы. Причём системы-конструкции предназначены для реализации систем-процессов. В этом смысле технологическая система механической обработки, например, шлифования, является системой-конструкцией, которую собирает технолог для реализации системы-процесса, например, процесса профильного зубошлифования. В соответствии с теорией технических систем одним из важных начальных этапов разработки систем является их адекватное описание (description) и моделирование (simulation), которые могут быть представлены в соответствующих форматах: словесное описание (текст) на обычных языках, специальные знаковые системы (языки программирования), блок-схемы, графы, математическая модель, временная диаграмма, комбинированный способ и т.п. Выбор соответствующего способа описания и моделирования зависит от цели исследования. Если такой целью является создание условий, обеспечивающих требуемое протекание процесса, т.е. выполнение необходимого алгоритма функционирования, то говорят об управлении процессом [1] и соответствующем алгоритме управления. В этом случае разрабатываемую техническую систему представляют в виде модели системы управления, имеющей вход, состояние и выход. При таком моделировании система – это математиче-

ская абстракция, принимаемая в качестве модели динамического явления [2], которая представляет это динамическое явление в терминах математических отношений. Модель системы управления характеризуют её входом, состоянием и выходом. Вход представляет собой внешние силы в виде множества временных функций, действующих на динамическое явление (процесс). Состояние и выход представляют собой меры непосредственно наблюдаемого поведения этого явления (процесса). Зависимость между входом и выходом может быть сильной или слабой. Базовой характеристикой любого динамического явления является поведение системы, на котором в любой момент времени отражаются не только текущие приложенные силы (входные параметры), но также те из них, которые были приложены в прошлом по отношению к данному моменту времени. В этом смысле динамическое явление обладает памятью, в которой сохраняется влияние прошлых приложенных сил (параметров). При разработке модели указанное состояние системы представляет собой векторную функцию времени. Знание состояния системы в любой момент времени и знание указанных входных параметров достаточно, чтобы определить выход и состояние системы в любой момент времени $t > t_0$, т.е. начиная с момента t_0 . Обобщённые отношения между входом, состоянием и выходом абстрактной кибернетической системы можно показать в виде схемы (рис.1).

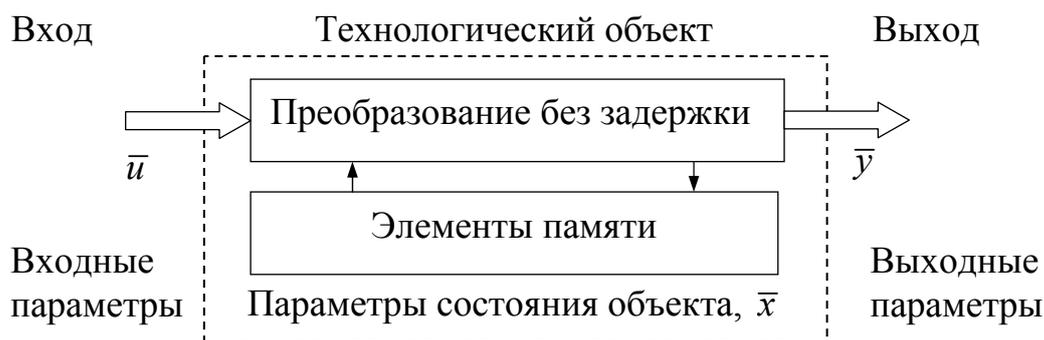


Рис. 1 – Концептуальное представление технологической системы на основе модели «вход-состояние-выход» (возмущения не показаны) [2]

В общем случае вход \bar{u} , состояние \bar{x} и выход \bar{y} системы являются векторными функциями времени, имеющими соответствующую размерность. Зависимость указанных функций от времени предполагает потенциальную возможность использования частотного подхода к исследованию системы.

Для всех указанных явлений (физических и иных) справедливы следующие принципы теории систем: (1) физической реализуемости, (2) детерминированности (определённости), (3) стохастичности [2]. Первый принцип (non-anticipation principle) означает, что состояние и выход системы в любой момент времени t_0 может быть функцией только тех входных величин, которые имели место при $t < t_0$. Второй принцип характеризует детерминированную систему (deterministic system) у которой состояние и выход могут быть определены с уверенностью на основе полного знания её состояния в момент времени t_0 (необходимое условие) и знания входа $\bar{u}(t)$ на интервале времени $t \geq t_0$ (достаточное условие). Третий принцип определяет стохастическую систему (stochastic or

nondeterministic system). Для стохастической системы указанное знание о состоянии и входе является достаточным только чтобы обеспечить статистическое описание (statistical description) состояния и выхода системы в момент времени t . Указанная особенность автоматизированных технологических систем предполагает использование теоретико-вероятностного подхода для их исследования, что предполагает статистическое описание параметров системы (по сравнению с детерминированным описанием).

Современные исследования автоматизированной технологической системы шлифования на станках с ЧПУ выполняют по различным направлениям, принимая за основу соответствующий предмет исследования. Когда объектом исследования является процесс в технологической системе, то предметом исследования могут быть разные его свойства, начиная от методов формообразования (например, профильное зубошлифование или зубошлифование червячным кругом), выбора элементов технологической системы, и заканчивая разработкой мониторинга процесса [3], технологической диагностикой и адаптивными системами [4].

Процесс шлифования при моделировании представляют в качестве звена системы управления [3], которая может быть разомкнутой (без обратной связи) или замкнутой (с обратной связью). На основании такого моделирования технологическая система шлифования может быть представлена в виде интегрированного взаимодействия двух видов технических систем: системы-конструкции и системы-процесса (рис. 2).

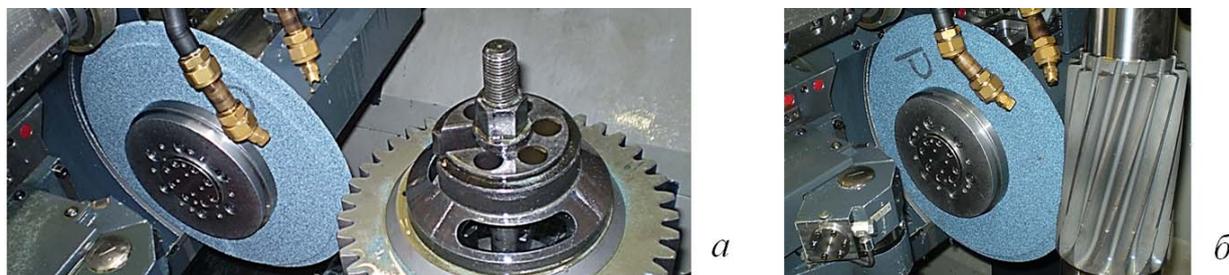


Рис. 2 – Технологическая система профильного зубошлифования при обработке зубчатого колеса (а) и вала-шестерни (б) на зубошлифовальном станке с ЧПУ HÖFLER RAPID 1250

Выходные параметры технологической системы (результат её функционирования) вытекают из принципа целеполагания, который в свою очередь определяется функциональным назначением изготавливаемой детали. Это нашло отражение в современной функционально-ориентированной технологии. Обычно выходными параметрами технологической системы являются численные значения параметров точности обработки и качества обработанной поверхности и поверхностного слоя. Например, применительно к процессу профильного зубошлифования (рис.2) к числу точностных параметров относятся следующие погрешности: формы профиля, угла профиля, формы линии зуба, угла наклона зуба, шага, радиальное биение. Эти параметры при зубошлифовании на станке с ЧПУ оценивают с помощью встроенной измерительной системы тактильного (tactile) типа, например, измерительной системы Renishaw (рис. 3).

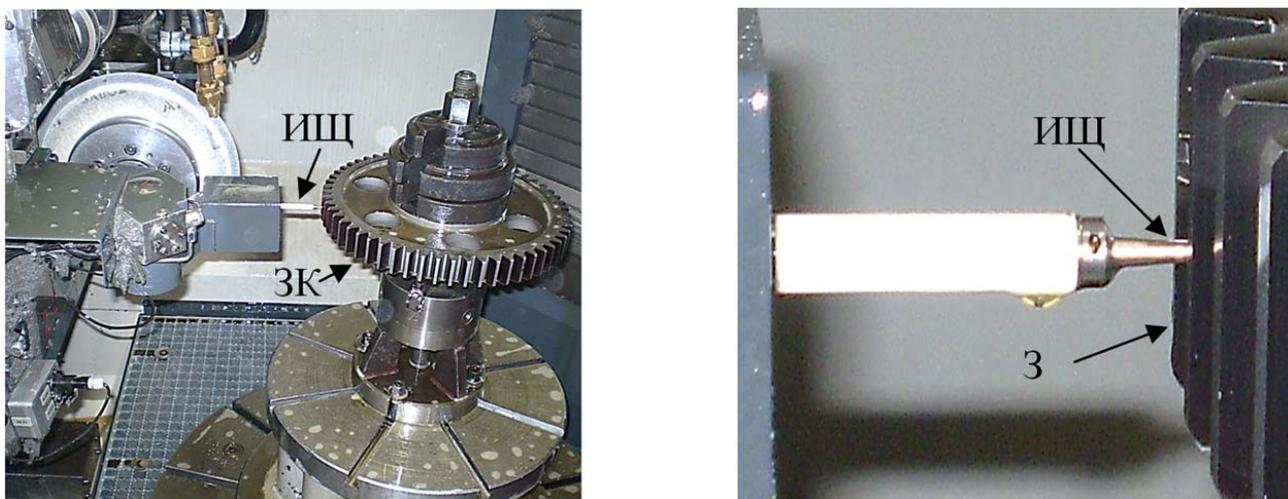


Рис. 3 – Измерение припуска и параметров обработки на станке HOFLER RAPID 1250: ИЩ – измерительный щуп компании Renishaw; ЗК – обрабатываемое зубчатое колесо: общий вид (слева) и зона измерения (справа)

На станках с ЧПУ имеется следящая система мониторинга параметров состояния технологической системы [3], которая является элементом технологической диагностики и предназначена для поддержания стабильности функционирования. Например, при профильном зубошлифовании к числу параметров состояния можно отнести следующие (рис.4): Q'_w , V'_w , F , T , $AЭ$. Здесь Q'_w (specific material removal rate) и V'_w (specific material removal) – удельные параметры съема припуска; T , F – температурный (temperature) и силовой (force) параметры процесса; $AЭ$ – параметр акустической эмиссии (acoustic emission). Некоторые из указанных параметров используются для мониторинга процесса профильного зубошлифования на станке с ЧПУ HOFLER RAPID 1250: Q'_w , V'_w , $AЭ$. Вместо параметров F и T на этом станке имеется выведенный на монитор сигнал мощности привода шлифовального круга, который представлен цифровым (или аналоговым) индикатором уровня. С помощью разработанной методики, можно выполнить преобразование этого сигнала в соответствующий сигнал теплонапряженности процесса.

В заключение следует отметить, что рассмотренная информационная (кибернетическая) модель автоматизированной технологической системы (рис.4) соответствует принципу информационного обеспечения производственного процесса, высказанному профессором И.М. Колесовым: "До сих пор технология машиностроения в очень малой мере занималась изучением информационных процессов на производстве.

Для восполнения пробела в этом направлении требуется большая научная работа, которая должна быть направлена на разработку метода описания производственных и технологических задач с точки зрения информационного процесса, на выработку языка описания, согласующегося с машинным языком, на разработку алгоритмов и программ для управления решением типовых задач" [5].

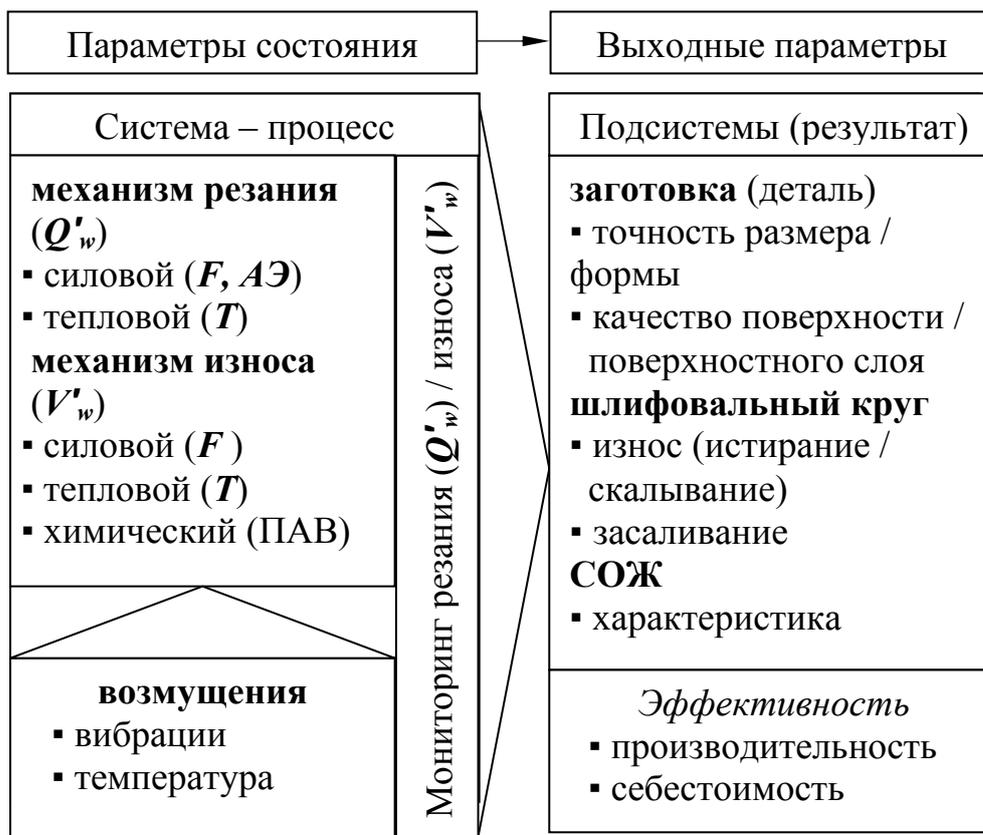


Рис. 4 – Информационная модель автоматизированной технологической системы шлифования: в дробных обозначениях режимных переменных указаны зарубежные [3] и отечественные обозначения

Выводы.

1. Использование кибернетической модели технологической системы шлифования, в отличие от известного системного подхода в системологии, предполагает организацию и исследование процесса управления, который является согласующим процессом, сопровождающим процессы механической обработки (шлифование) и износа шлифовального круга исходя из предварительно сформулированных требований чертежа обрабатываемой детали.

2. В зависимости от получаемого результата обработки (шлифования) детали управляющие воздействия на объект (процесс зубошлифования) могут быть скорректированы или продолжены после окончания цикла обработки в зависимости от фактически получаемых результатов, что свидетельствует о наличии отрицательной обратной связи в системе управления процессом шлифования.

3. Классификация параметров технологической системы шлифования на входные, состояния и выходные предопределяет методологию научных исследований технологической системы шлифования и принятые подходы к её исследованию и оптимизации. К числу таких подходов относятся следующие: кибернетический подход, системный, теоретико-вероятностный, частотный и другие.

4. На современном этапе исследования технологической системы шлифования на станках с ЧПУ управление процессом является автоматизированным в том смысле, что решение о внесении соответствующих корректирующих воздействий принимает оператор, обслуживающий станок. Проявление кибернетического подхода к управлению процессом зубошлифования подтверждается встроенной в ЧПУ системой технологического мониторинга по указанным параметрам состояния технологической системы, в том числе по параметру акустической эмиссии, который используют для управления циклом шлифования и правки шлифовального круга.

5. Прогресс в развитии автоматизации технологической системы шлифования приводит к разработке автоматизированной системы технологической диагностики (дальнейшее развитие мониторинга) и адаптивных систем не только по параметрам состояния технологической системы, но также по её выходным параметрам (точность обработки и качество поверхности).

Список литературы: 1. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1977. – 560 с. 2. *Freeman Herbert*. Discrete-time systems: an introduction to the theory / *Herbert Freeman*. – New York: J. Wiley, 1965. – 241 p. 3. *Klocke Fritz*. Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping / *Fritz Klocke*. – Berlin: Springer, 2009. – 433 с. 4. Рыбалко А.П. Системы технологической диагностики и адаптивного управления для станков с ЧПУ / А.П. Рыбалко, Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – Вип.1 (25). – С. 94-108. 5. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 1999. – 591 с.

ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ И ЧАСТОТНЫЙ ПОДХОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф.

(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

Лищенко Н. В., канд. техн. наук, доц.

(Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина)

Нежебовский В.В., канд. техн. наук

(ПАО «Харьковский машиностроительный завод «Свет шахтера», Харьков, Украина)

Рассмотрены теоретико-вероятностный и частотный подходы к исследованию технологических систем путем представления их временных параметров (входных, состояния и выходных) в виде сигналов, содержащих детерминированную (систематическую) и вероятностную (стохастическую) составляющие.

Ключевые слова: технологический анализ, научный подход, методология, технологическая система, теория сигналов, преобразования Фурье.

Розглянуто теоретико-імовірнісний і частотний підходи до дослідження технологічних систем шляхом подання їх часових параметрів (вхідних, стану і вихідних) у вигляді сигналів, що містять детерміновану (систематичну) і вірогідну (стохастичну) складові.

Ключові слова: технологічний аналіз, науковий підхід, методологія, технологічна система, теорія сигналів, перетворення Фур'є.

The theoretical-and-probabilistic and frequency approaches are considered to the study of technological systems by submitting their timing parameters (input, state and output) in the form of signals containing deterministic (systematic) and probabilistic (stochastic) components.

Keywords: technological analysis, scientific approach, methodology, grinding system, theory of signals, Fourier transforms.

В соответствии с теорией технических систем имеются два вида этих систем: системы – конструкции и системы – процессы. Причем, взаимодействие этих систем проявляется в том, что системы – конструкции предназначены для реализации систем – процессов. К числу наук о процессах (process science), обеспечивающих требуемый технологический результат (количество и качество продукции, сроки изготовления при наименьшей трудоёмкости и себестоимости), относится технология машиностроения. Основным объектом этой науки является технологические процессы изготовления машиностроительной продукции и прежде всего процессы и операции обработки и сборки. Частью этих процессов является собственно процесс взаимодействия элементов технологической системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка», который определяет затраты основного (машинного) времени.

Технологический анализ, как метод научного исследования в технологии машиностроения, обычно выполняют на этапах производства и его подготовки (технологическая подготовка производства), которые являются этапами жизненного цикла изделия. На обоих этих этапах используется оптимизация, которая является, соответственно, методом управления (этап производства) и мето-

дом проектирования (этап подготовки производства). Как правило, технологический анализ основан на математическом аппарате инженерной физики (теплофизика и динамика), которые, в этой связи называют технологической теплофизикой и технологической динамикой. Эти направления соответствуют природе явлений, происходящих при механической обработке (тепловой и силовой фактор), и являются научными основами обеспечения эксплуатационных характеристик изделий машиностроения.

В свою очередь технологии машиностроения как науке о процессах соответствуют два общенаучных подхода: теоретико-вероятностный [1] и частотный [2]. В соответствии с теоретико-вероятностным подходом любой параметр процесса может быть систематической (детерминированной), случайной или композиционной (смешанной) величиной. Поскольку параметры реального процесса редко могут быть детерминированными, то в этом смысле детерминированная величина может описывать некий абстрактный, виртуальный, реально не существующий процесс. Выводы, которые можно извлечь из моделирования детерминированного процесса могут оказаться полезными для практики, если они касаются каких-либо установленных тенденций. Случайная величина также имеет место в технологическом анализе, например, при оценке и моделировании шероховатости обработанной поверхности, при анализе вибраций в упругой системе металлорежущего станка, оценке погрешности эксперимента и/или измерения [3]. Имеется соответствующий математический аппарат теории случайных процессов, который используют для принятия технологических решений. В этом случае рассматриваемые технологические параметры (параметры шероховатости, припуск на обработку и т.п.) являются статистическими (не детерминированными) и, следовательно, определяются соответствующими законами распределения случайной величины (распределения Гаусса, Стьюдента и т.п.).

Как правило, в технологических исследованиях чаще имеет место композиция двух составляющих процесса: систематической (детерминированной) составляющей (определяет тренд) и случайной (наложенной на тренд). Основные технологические закономерности проявляются в изменении детерминированной составляющей (например, при многофакторном планировании эксперимента), а случайная составляющая является при этом «шумовой» и характеризует надежность оценки устанавливаемой закономерности. По этой причине теоретико-вероятностный подход по своей сути и математическому аппарату соответствует реальным технологическим процессам, в том числе на настроенных станках и станках с ЧПУ.

Соответствие частотного подхода природе технологических процессов механической обработки, т.е. изменению технологических параметров во времени, следует из принципиальной сущности интегрального преобразования Фурье, предназначенного для трансформации временных параметров процесса в частотные параметры (прямое преобразование Фурье) и обратно из частотных параметров во временные параметры (обратное преобразование Фурье). Частотное представление технологических параметров позволяет принимать эффективные технологические решения путем внесения соответствующих кор-

ректив в передаточные функции технологической системы. Например, коррективы в режимы резания могут быть внесены для обеспечения устойчивой работы технологической системы, т.е. для вывода её из неустойчивого состояния. Другим примером эффективности частотного подхода является разделение спектра неровностей обработанной поверхности на частотные составляющие, которые соответствуют категориям шероховатости, волнистости и отклонениям формы профиля. Эту математическую операцию производят с помощью цифровых фильтров [2], в том числе фазокорректирующих.

Положительным качеством рассматриваемой методологии двух подходов является естественное взаимодействие этих подходов, поскольку результаты теоретико-вероятностного моделирования (математического описания) технологических параметров и результаты их экспериментального измерения могут быть подвергнуты частотному преобразованию Фурье. При этом возможны следующие случаи: систематическая составляющая сигнала превалирует над случайной составляющей сигнала или не превалирует. В первом случае, говорят, например, о периодическом сигнале. В противном случае (случайная составляющая сигнала больше систематической составляющей) говорят об апериодическом сигнале. Количественное соотношение между систематической и случайной составляющими выявляют с помощью автокорреляционной функции исходного сигнала [4,5].

Практика технологических исследований подтверждает правомерность представления сигнала технологического назначения в виде суммы систематической (периодической, полигармонической) и случайной (апериодической) составляющих. Например, по этому принципу построены европейские (ISO) или американские (ASME) стандарты по шероховатости и волнистости. Такой принцип позволяет, например, установить взаимосвязь между периодическими сигналами вибраций и волнистостью обработанной поверхности. В общем случае теоретико-вероятностный подход или отнесение изучаемой технологической системы к классу детерминированно-стохастической является научной гипотезой до сих пор не опровергнутой технологической практикой.

Для временных сигналов с превалирующей систематической составляющей их частотное представление по Фурье имеет вид дискретного спектра, т.е. каждой явно выраженной амплитуде гармоники соответствует определенная частота. Поэтому, обратное преобразование Фурье может быть выполнено путём суперпозиции соответствующих явно выраженных и дискретных гармонических составляющих. Амплитуду этих составляющих берут из амплитудно-частотной характеристики сигнала, а фазу – из его фазочастотной характеристики.

Особенностью технологических исследований является ограниченный временной интервал наблюдения сигнала, характеризующего технологический параметр. Например, запись вибраций в упругой системе металлорежущего станка производят на дискретных, ограниченных по времени интервалах времени длительностью 0,2 с. при частоте дискретизации исходного временного сигнала 30 кГц. Этот незначительный по длительности временной интервал (0,2 с) преобразуют в соответствующий спектр сигнала и наблюдают за изменением частотных параметров сигнала во времени. При этом текущее время складыва-

ется из суммы интервалов длительностью 0,2 с. При измерении припуска на отдельных впадинах зубчатого колеса весь интервал изменения припуска характеризуется длиной измерительной окружности $2\pi R$, где R – радиус измерительной окружности заготовки. Ещё одним примером может быть ограниченность длины трассирования при измерении щупом параметров шероховатости и волнистости. Указанная ограниченность временного интервала наблюдения процесса приводит к нескольким сложностям применения указанных методологических подходов. Во-первых, представление любой временной периодической функции в виде дискретного спектра, т.е. в виде ряда Фурье, возможно, если указанная функция существует в бесконечном по длительности интервале времени. Всякое ограничение этого интервала (по времени или координате, характеризующей время) нарушает требования бесконечности наблюдаемого процесса (периодического или аperiodического). Это приводит к невозможности гармонического представления сигнала в виде ряда Фурье (или дискретного частотного спектра). В этом случае преобразование Фурье выражается интегралом Фурье. Оно даёт непрерывный спектр в функции частоты изменения сигнала. Аналогом амплитуды сигнала в спектре является спектральная плотность сигнала. Во-вторых, при ограниченном (по времени или координате) сигнале этот сигнал часто содержит постоянную составляющую (direct component), имеющую ту же самую ограниченную протяжённость по времени или координате. Из свойства линейности преобразования Фурье, следует, что выходной частотный спектр будет содержать спектральную часть от одиночного прямоугольного импульса, длина которого равна указанному отрезку времени или координаты. Спектр этого сигнала является непрерывным и описывается функцией $\text{sinc}(x)$. Этот спектр может превалировать над спектром переменной части сигнала, что сведет на нет результаты частотного анализа сигнала. В-третьих, задачей является выбор частоты дискретизации исходного сигнала, исходя из требуемого диапазона частот этого сигнала в его частотном представлении. Такая задача возникает при выборе оптимального числа измерений припуска на зубошлифование в отдельных (не всех) впадинах заготовки зубчатого колеса.

Выводы. 1. Предложены методы обеспечения адекватного применения теоретико-вероятностного и частотного подходов в технологических исследованиях. Например, сформулированы требования по нормированию исходного сигнала технологического назначения. **2.** Разработана методика для дискретного представления спектра, т.е. в виде ряда Фурье, при наличии ограниченного по времени или координате сигнала технологического назначения. **3.** Даны рекомендации по выбору частоты дискретизации исходного сигнала технологического назначения, исходя из требуемого диапазона частот при частотном представлении этого сигнала, например, сигнала, характеризующего припуск на зубошлифование и его распределение по впадинам зубчатого колеса.

Список литературы: 1. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход), под ред. А.А. Первозванского / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Наука, 1975. – 344 с. **2.** Хемминг Р.В. Цифровые фильтры: Пер. с англ. / Под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Сов. Радио, 1980. – 224 с. **3.** Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сирая. – Л.: Энергоатомиздат, Ле-

нингр. отд-ние, 1990. – 288 с. 4. *Лоповок Т.С.* Волнистость поверхности и её измерение / *Т.С. Лоповок.* – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 184 с. 5. *Лищенко Н.В.* Разделение профиля поверхности на систематическую и случайную составляющие / *Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин* // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2016. – С. 62-73.

УДК 621.9.01

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАЗНЫХ УЧАСТКАХ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

Лищенко Н.В., канд. техн. наук, доц.

(Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина)

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф.

(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

Выполнен анализ состояния вопроса по определению температуры профильного зубошлифования и разработана прикладная методика определения температуры на различных участках эвольвентного профиля.

Ключевые слова: *профильное зубошлифование, температура шлифования, плотность теплового потока, удельная работа шлифования.*

Виконано аналіз стану питання щодо визначення температури профільного зубошліфування і розроблена прикладна методика визначення температури на різних ділянках евольвентного профілю.

Ключові слова: *профільне зубошліфування, температура шліфування, щільність теплового потоку, питома робота шліфування.*

A problem state analysis to define the profile gear grinding temperature is given and an applied technique to determine the temperature in different parts of the involute profile is developed.

Keywords: *profile gear grinding, grinding temperature, heat flux density, specific grinding work.*

Тепловые явления при зубошлифовании методом копирования рассмотрены в ряде известных работ [1-4], однако без формулировки какой-либо обобщающей концепции, связанной с рассмотрением принципиальных подходов к расчету температуры шлифования. В предыдущей статье были найдены мгновенные геометрические параметры сечения срезаемого слоя. Начиная с исследований Редько С.Г. [5], принято различать следующие виды температур: локальная температура в зоне воздействия одного абразивного зерна, контактная температура, усредненная по пятну контакта шлифовального круга с заготовкой (20-1200°C), установившаяся температура в процессе длительного шлифования (40-200°C). В соответствии с этой классификацией, как правило, построены известные методики расчета температур.

В многочисленных работах проф. Якимова А.В и его учеников показано, что расчет теплового потока и температуры при шлифовании возможно на основе экспериментально-теоретического метода, в соответствии с которым рассматривается усредненная по пятну контакта температура шлифования. Определение этой температуры в зоне контакта и по глубине поверхностного слоя производят на основе решения дифференциального уравнения теплопроводности.

сти Фурье при граничных условиях второго рода на поверхности, т.е. когда известна и не меняется по пятну контакта плотность теплового потока. В свою очередь плотность теплового потока определяют экспериментально, измеряя мощность шлифования в ваттах. Далее находят отношение измеренной мощности к площади пятна контакта, зависящей от условий шлифования (способ, режимы и особенности шлифования). Как правило, расчеты выполняют для традиционных схем «прямоугольного шлифования»: плоского, круглого наружного и внутреннего шлифования, а также для схем врезного шлифования с поперечной подачей.

В схемах профильного зубошлифования по методу копирования сечение срезаемого слоя в каждой точке эвольвентного профиля характеризуется мгновенными глубинами резания: вертикальной t_v и нормальной t_n . Первую – задают движением поперечной (радиальной) подачи шлифовального круга на заготовку в соответствии с программой многопроходного зубошлифования на станке с ЧПУ. Вторая зависит от формы эвольвенты, так как является перпендикулярной к ней.

Зубошлифование методом копирования на станках с ЧПУ и измерительными системами контроля припуска перед обработкой широко используется в технологии изготовления закаленных зубчатых колес (ЗК) в разных отраслях машиностроения. Жесткая схема обработки и прецизионный профиль предварительно заправленного круга обуславливают постоянство контакта и предсказуемость его изменения по мере формирования эвольвентного профиля на левой и правой стороне впадины зубчатого колеса (ЗК). Однако вопросам исследования теплонапряженности профильного зубошлифования на различных участках эвольвентного профиля в имеющейся литературе не уделено должного внимания. Отсутствует обобщающая концепция, позволяющая определять геометрические и теплофизические параметры профильного зубошлифования на основе подобия этой схемы с традиционными схемами «прямоугольного шлифования», например, обычного плоского или круглого шлифования. В зарубежной литературе отмечают только фактор риска получить шлифовочные прижоги и связывают этот риск со скоростью удаления материала Q'_w (specific material removal rate), которую вычисляют в $\text{мм}^3/(\text{с} \cdot \text{мм})$, приводя к единице активной ширины профиля шлифовального круга [6], однако нет систематизированного исследования технологической теплофизики профильного зубошлифования.

Целью настоящей статьи является разработка прикладной методики определения температуры профильного зубошлифования и указание пути ее дальнейшего развития.

При анализе схемы профильного зубошлифования (рис.1) может быть найдена аналогия со схемой профильного шлифования на плоскошлифовальном станке, когда профильный шлифовальный круг формирует методом копирования соответствующий эвольвентный профиль заготовки. Рассмотрение этой аналогии позволило сформулировать и доказать теорему об эквивалентном прямоугольном профиле, который при той же глубине резания t_{i+1} имеет то же самое по площади, но простое по форме сечение среза $S_{cc}(t_{i+1})$, зависящее от очередной глубины резания t_{i+1} (рис.1). Причем $S_{cc}(t_{i+1}) = t_{i+1} W_{a(i+1)}$, где $W_{a(i+1)}$ –

активная ширина профиля, которую определяют исходя из известных параметров профильного зубошлифования $W_{a(i+1) \max}$ и $W_{a(i+1) \min}$.

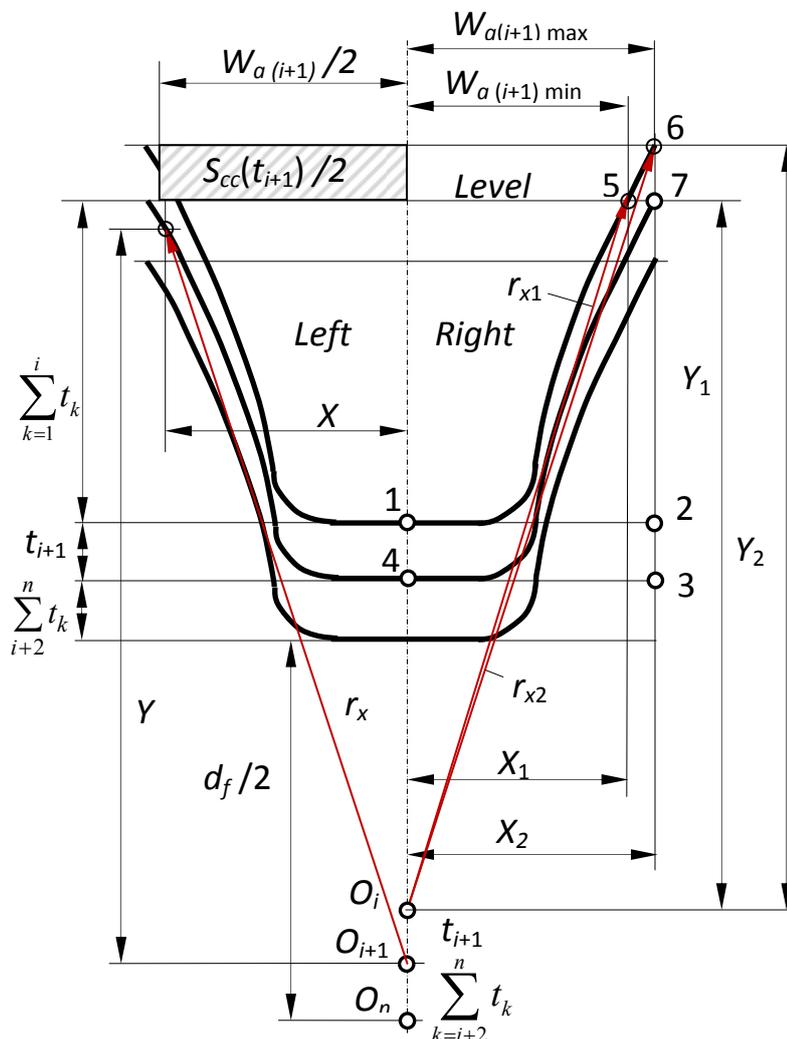


Рис. 1 – Расчетная схема формирования эвольвентного профиля впадины

С учетом работы [7], плотность теплового потока $q(r_x)$ в каждой точке нелинейного эвольвентного профиля может быть найдена по формуле

$$q(r_x) = A_{y\delta} \psi \frac{dQ}{dS_c} = \frac{P}{VS_{cc}} \psi \frac{Vt_n(r_x)}{\sqrt{Dt_v(r_x)}},$$

где r_x – текущий радиус-вектор рассматриваемой точки эвольвентного профиля, мм;

$A_{y\delta}$ – удельная работа шлифования, Дж/мм³; ψ – доля теплоты, попадающей в заготовку; Q – интенсивность шлифования, мм³/с; S_c – площадь контакта, м²; P – мощность зубошлифования, Вт; V – осевая подача (скорость детали), м/с; S_{cc} – площадь поперечного сечения среза (gear grinding cross-section area), м²; D – мгновенный диаметр шлифовального круга в рассматриваемом сечении его профиля, м. В отличие от удельной тангенциальной силы резания, предложенной в работе [6], параметр плотности теплового потока $q(r_x)$ непосредственно связан с температурой шлифования в соответствии с известным уравнением теплопроводности Фурье.

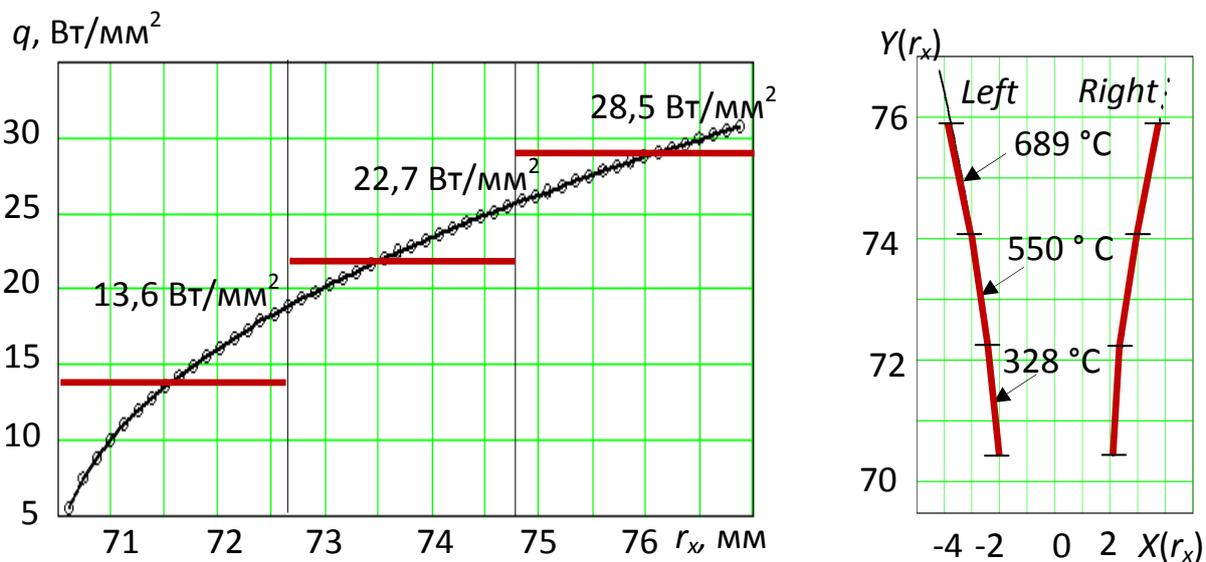


Рис. 2 – Зависимость плотности теплового потока от текущего радиус-вектора эвольвентного профиля r_x (слева) и изменение средней температуры по эвольвентному профилю (справа)

Далее следует отметить, основные подходы к определению мгновенной температуры шлифования, рассмотренные ранее [8]. Во-первых, преимущество одно – и двумерного решений дифференциального уравнения теплопроводности Фурье, позволяющая определять температуру шлифования путем преобразования скорости движения теплового источника (скорости детали) во время его действия. Во-вторых, выполнение принципа усреднения температуры по пятну контакта (рис.2) и использование принципа суперпозиции теплового потока. В третьих, способ учета принудительного охлаждения, в соответствии с которым нагрев является начальным условием для последующего охлаждения [9].

В соответствии с указанными принципами при учете распределения теплового потока, температура профильного шлифования $T(r_x)$ на поверхности соответствующих участков эвольвентного профиля может быть найдена по формуле $T(r_x) = 2q(r_x)\sqrt{a\tau} / (\lambda\sqrt{\pi})$, где a , λ – коэффициенты температуро – и теплопроводности, в $\text{м}^2/\text{с}$ и $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, соответственно; τ – время действия теплового источника, с. Причем, $\tau = \sqrt{10^{-6} D t_v} / (V 10^{-3})$.

Рассмотрим пример: $\psi = 0,8$; $V = 116,67$ мм/с (7000 мм/мин); $D = 400$ мм; $P = 3000$ Вт; $S_{cc} = 0,47619$ мм^2 (взято из расчетов активной ширины и площади сечения среза для эвольвентного профиля (2-й рабочий ход на 1-ом этапе зубошлифования); $t_v = 0,074$ мм. Для этих условий получаем $A_{y\partial} = 54$ Дж/мм³. В предыдущей статье «Определение мгновенной глубины зубошлифования на основе аналитического уравнения эвольвенты» получены зависимости для определения вертикальной t_v и нормальной t_n глубины резания при зубошлифовании. На этой основе получаем зависимость мгновенной плотности теплового потока от мгновенной нормальной глубины резания, т.е. $q(r_x) = f(t_n)$. Далее усредняем мгновенную плотность теплового потока по трем участкам эвольвентного профиля (рис.2, слева). Для этого выбираем области

усреднения по трем участкам профиля в следующих интервалах текущего радиус-вектора эвольвентного профиля: участок I – $r_x = 70,60491 \dots 72,65228$ мм; участок II – $r_x = 72,78025 \dots 74,82762$ мм; участок III – $r_x = 74,95558 \dots 76,875$ мм.

Находим время действия теплового источника при зубошлифовании $\tau = \sqrt{400 \cdot 0,074 \cdot 10^{-6} / (116,67 \cdot 10^{-3})} = 0,046634$ с. Теплофизические параметры стали 20X2H4A: $a = 5,68$ м²/с; $\lambda = 24$ Вт/(м·°С); плотность $\rho = 7850$ кг/мм³; удельная теплоемкость $c = 538$ Дж/(кг·°С). Соответственно расчетная температура для вышеуказанных трех участков составляет: 328 °С; 550 °С; 689 °С (рис. 2, справа).

Выводы. 1. Разработана методика расчета мгновенных значений удельного теплового потока и средних значений температур профильного зубошлифования, позволяющая определять температуру на поверхности и по глубине поверхностного слоя на любых участках эвольвентного профиля шлифовального круга.

2. На конкретном примере показано как изменяется температура на различных участках эвольвентного профиля впадины в зависимости от вертикальной и нормальной глубины резания на рассматриваемом участке. Например, температура в нижней, средней и верхней частях эвольвентного профиля составляет: 328 °С, 550 °С и 689 °С, соответственно.

3. При дальнейшем исследовании температуры профильного шлифования следует изучить влияние геометрических параметров сечения срезаемого слоя материала на удельную работу шлифования $A_{уд}$, которая предопределяет плотность теплового потока и оказывает пропорциональное влияние на температуру шлифования в рассмотренных отдельных участках эвольвентного профиля.

Список литературы: 1. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью абразивной обработки с учетом затупления инструмента: Автореф. дисс... докт. техн. наук: 05.03.01. – Рыбинск, 2006. – 34 с. 2. Макаров В.М. Обеспечение точности профильного шлифования винтовых зубьев крупномодульных цилиндрических колес на основе имитационного моделирования: автореф. дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.02.07 "Технология и оборуд. механич. и физ.-техн. обработки"; 05.02.08 "Технология машиностроения" / В.М. Макаров. – М., 2010. – 36 с. 3. Декаполитов М.И. Повышение эффективности профильного зубошлифования цилиндрических колес путем расчета параметров статической наладки: Дисс.. канд. техн. наук: 05.02.07; 05.02.08. – Москва, 2013. – 212 с. 4. Качество изготовления зубчатых колес / А.В. Якимов, Л.П. Смирнов, Ю.А. Бояришинов и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с. 5. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов / С.Г. Редько. – Саратов: изд. Саратовского университета, 1962. – 231 с. 6. Gorgels C. Optimization of the gear profile grinding process utilizing an analogy process / Christof Gorgels, Heiko Schlattmeier, Fritz Klocke // Gear technology. – November/December 2006. – P.34-41. 7. Ларшин В.П. Технология многониточного резьбошлифования прецизионных ходовых винтов / В.П. Ларшин // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1999. – Вып.2(8) . – С. 87-91. 8. Лищенко Н.В. Исследование влияния смазочно-охлаждающей жидкости на температуру шлифования / Н.В. Лищенко // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2011. – Вып. 2(36). – С.80-86. 9. Лищенко Н.В. Влияние принудительного охлаждения на температуру шлифования / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – Тольятти, 2015. – №3-1(33-1). – С.68-74.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МГНОВЕННОЙ ГЛУБИНЫ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ЭВОЛЬВЕНТЫ

Лищенко Н.В., канд. техн. наук, доц.

(Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина)

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф.

(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

Дана характеристика двух основных схем зубошлифования, установлены аналитические зависимости для определения мгновенных глубин профильного зубошлифования и их отношения в различных точках эвольвентного профиля.

Ключевые слова: *профильное зубошлифование, червячное зубошлифование, эвольвента, вертикальная глубина зубошлифования, нормальная глубина зубошлифования.*

Надано характеристику двох основних схем зубошліфування, встановлено аналітичні залежності для визначення миттєвих глибин профільного зубошліфування та їх відношення в різних точках евольвентного профілю.

Ключові слова: *профільне зубошліфування, черв'ячне зубошліфування, евольвента, вертикальна глибина зубошліфування, нормальна глибина зубошліфування.*

The characteristics of the two main methods of gear grinding is given, analytical dependences for determining the instantaneous profile gear grinding depths and their relationships at different points of the involute profile are found.

Keywords: *profile gear grinding, worm gear grinding, involute, vertical depth of cut, normal depth of cut.*

Зубошлифование методом копирования (discontinuous profile gear grinding) на станках с ЧПУ и измерительными системами контроля припуска перед обработкой широко используется в технологии изготовления закаленных зубчатых колёс (ЗК) транспортного и авиационного назначения, а также в других областях машиностроения, например в ветровых энергетических установках (wind power energy gears). Жёсткая схема обработки и прецизионный профиль шлифовального круга, заправленного с помощью ЧПУ, позволяют получать прямозубые (spur) и косозубые (helical) ЗК высокой степени точности, которую ранее получали на станках с цикловым управлением типа МААГ, работающих методом обката двумя тарельчатыми кругами (в настоящее время такие станки не изготавливаются). Числовое программное управление измерением заготовки, правкой шлифовальных кругов и собственно шлифованием позволяет получить степень точности крупномодульных ЗК в диапазоне DIN 1-2 (a high quality level in the range of DIN 1-2) [1]. Если учесть, что степени точности DIN 1-2 (DIN 3962) приблизительно соответствуют степеням точности 2-3 по ГОСТ 1643-81, то можно увидеть существенное преимущество метода профильного зубошлифования (метода копирования) на станках с ЧПУ. Конкуренцию методу копирования в настоящее время составляет более производительный метод обката, реализуемый червячным шлифовальным кругом (continuous generating gear grinding), который, однако, уступает по точности обработки [2]. Применение многопрофильной инструментальной наладки (multiple wheel profile grinding) позволяет увеличить производительность метода профильного шлифования [1].

Особенностью метода профильного шлифования является переменные условия резания по профилю шлифовального круга, вызванные нелинейной формой этого профиля. Величину нелинейности (кривизны) профиля характеризуют углом наклона касательной к эвольвентному профилю [3]. Изменение этого угла и мгновенной длины дуги контакта в направлении вектора осевой подачи (скорости детали) приводит к существенному изменению тангенциальных (tangential grinding force) и нормальных (perpendicular grinding force) составляющих усилий резания, а также их мгновенных удельных величин, приходящихся на единицу длины контакта в направлении вектора осевой подачи [3]. Это влияет на локальную температуру шлифования и её изменение по периметру профиля шлифовального круга.

К числу основных требований к качеству зубошлифования, помимо указанной точности, относится отсутствие шлифовочных дефектов (прижогов и микротрещин) и высокая размерная стойкость зубошлифовальных кругов с эвольвентным профилем, который соответствует профилю впадины ЗК. В этой связи определение параметров сечения срезаемого слоя, предопределяющих температуру профильного зубошлифования, является актуальной задачей в технологии машиностроения. К числу таких параметров относятся мгновенные глубины шлифования: нормальная t_n , т.е. перпендикулярная к боковой стороне обрабатываемой впадины, и вертикальная t_v , совпадающая по направлению с направлением радиальной подачи. Известно, что сочетание этих глубин для любой произвольной точки A (рис.1, a) шлифуемого профиля предопределяет мгновенную плотность теплового потока в этой точке [4]. **Целью статьи** является расчёт указанных мгновенных глубин шлифования (t_n и t_v) на основе аналитического уравнения эвольвентного профиля для левой и правой сторон впадины ЗК. Задача геометрического расчёта упрощается при рассмотрении эвольвенты, как плоской кривой (plane curve). Рассмотрим основные этапы разработанной методики с учётом обозначений, принятых в работах [5] и [6].

1. Для заданного типоразмера ЗК проводят построение эвольвентного профиля в плоскости по следующим уравнениям эвольвенты, приведенным к каноническому виду в параметрической форме записи [7]

$$X = r_x \cdot \sin \left(\left(C_1 - C_2 + \left(\operatorname{tg} \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) \right) \right), \quad (1)$$

$$Y = r_x \cdot \cos \left(\left(C_1 - C_2 + \left(\operatorname{tg} \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_x} \right) \right) \right) \right), \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{T_\partial}{2r_\partial}, \quad C_2 = \left(\operatorname{tg} \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_\partial} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_\partial} \right) \right), \quad (3)$$

где r_x – текущий радиус-вектор произвольной точки эвольвентного профиля впадины ЗК в полярной системе координат, мм; T_∂ – ширина впадины зуба на делительной окружности, мм; r_∂ – радиус делительной окружности, мм; r_b – радиус основной окружности. В формулах (1) и (2) угол радиус-вектора r_x изменяется в ограниченном диапазоне. Это угол между линией, проходящей через

ось симметрии впадины зубчатого колеса и прямой, проходящей через центр ЗК и текущую точку эвольвенты, которую определяет r_x . Причём $r_a > r_x > r_b$ (r_a – радиус окружности выступов).

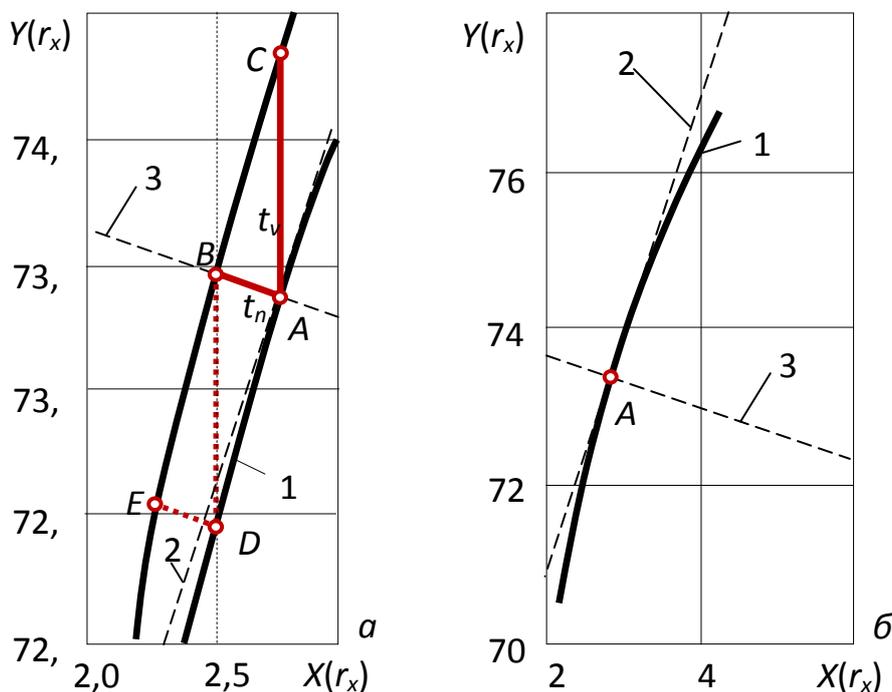


Рис. 1 – Фрагмент правой стороны профиля впадины ЗК до (а) и после (б) удаления припуска с глубинами резания t_n и t_v : 1 – эвольвента правой боковой стороны; 2 – касательная к точке A эвольвенты ($r_{x0} = 73,42005$ мм); 3 – нормаль к касательной

2. В указанном выше интервале изменения задают текущий радиус-вектор r_x , указывающий точку эвольвенты, в которой необходимо определить вертикальную t_v и нормальную t_n глубины резания. В этой точке (точке A на рис.1, б) по уравнениям (1)-(3) находят координаты $X(A)$ и $Y(A)$.

3. Находят уравнение касательной к эвольвенте в точке A , лежащей на эвольвенте, с радиус-вектором r_x и уравнение нормали, проведенной через эту же точку. Параметрические уравнения (1)-(3), можно представить в каноническом виде $X = f(t)$ и $Y = f(t)$, где $t = r_x$. Теперь в соответствии с теоретическими положениями дифференциальной геометрии (differential geometry) находят уравнение касательной и уравнение нормали в следующем виде, соответственно, $y - y_0 = f'_x(t_0)(x - x_0)$ и $y - y_0 = -\frac{1}{f'_x(t_0)}(x - x_0)$ [8].

Здесь: $t_0 = r_{x0}$ – вспомогательная переменная в точке A , для которой необходимо определить аналитические уравнения касательной и нормали (точка A на рис.1), т.е. эта координата определяет декартовы координаты x_0 и y_0 точки A .

4. В соответствии с технологией зубошлифования задают вертикальную глубину резания t_v , определяющую предыдущее положение эвольвентного профиля (точка C на рис.1,*a*).

5. Получают два новых уравнения эвольвенты $X = f(r_x)$ и $Y' = f(r_x) + t_v$, описывающих предыдущее (до снятия очередного припуска t_v) положение профиля впадины.

6. Идентифицируют точку пересечения нормали и эвольвенты (точка B на рис.1, *a*). Для этого используют три уравнения: уравнение нормали и два уравнения новой эвольвенты в параметрическом виде (пункт 5). Из уравнения нормали выражают x , а вместо текущей переменной y (в том же уравнении нормали) подставляют $Y' = f(r_x) + t_v$. Приравнивают два следующих уравнения: уравнение для x , выраженное из уравнения нормали при $y=Y'$ и уравнение $X = f(r_x)$. Решают это уравнение с одним неизвестным относительно r_x .

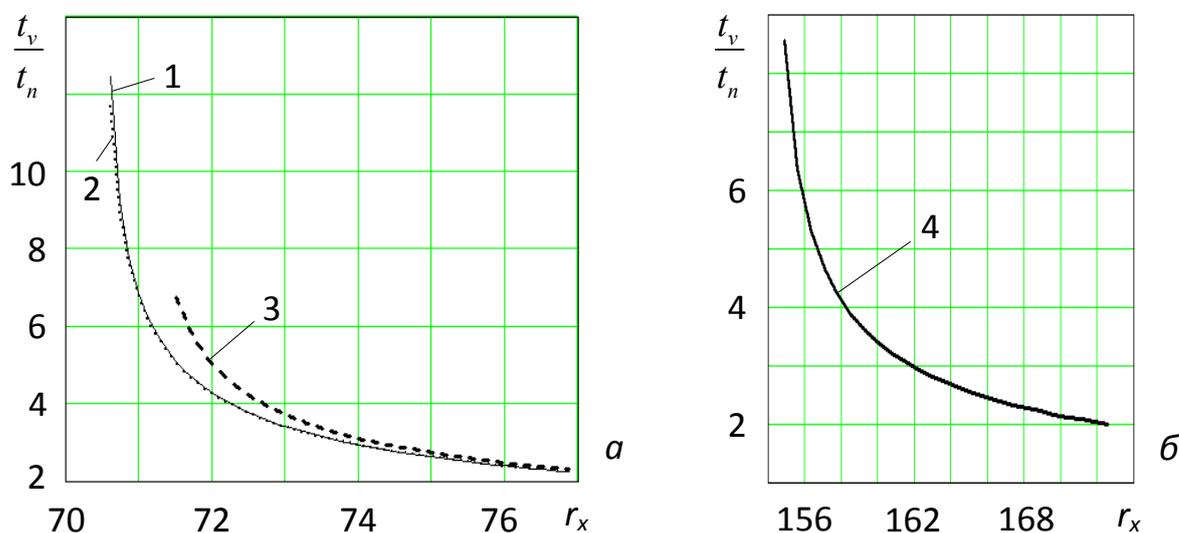


Рис. 2 – Зависимость отношения глубин шлифования t_v / t_n в разных точках эвольвентного профиля для ЗК №1 (*a*) и ЗК №2 (*б*): 1 – $t_v = 0,074$ мм; 2 – $t_v = 0,037$ мм; 3 – $t_v = 1$ мм; 4 – $t_v = 0,074$ мм

Зная r_x , находят декартовы координаты $X = f(r_x)$ и $Y' = f(r_x) + t_v$. Таким образом, получают координаты точки B : $X(B)$ и $Y(B)$.

7. Имея координаты точек A и B (рис.1, *a*), определяют длину отрезка AB , т.е. находят нормальную глубину резания t_n по следующей формуле [8].

$$t_n = AB = \sqrt{(Y(A) - Y(B))^2 + (X(A) - X(B))^2}$$

Таким образом, для каждого текущего радиус-вектора r_x получают нормальную глубину резания t_n и текущее отношение мгновенных глубин резания t_v / t_n для любой точки эвольвентного профиля шлифуемой впадины ЗК (рис.2). Графики на рис.2 построены для двух заготовок ЗК со следующими данными. Первое ЗК (№1): $z = 40$; $m = 3,75$; $d_o = 150$ мм, где z , m , d_o – число зубьев, модуль и диаметр делительной окружности, соответственно. Второе ЗК (№2): $z = 41$; $m = 8$; $d_o = 328$ мм. Например, для первого ЗК радиус-вектор r_x изменяется в интервале от 70,47695

мм до 76,875 мм. Для радиус-вектора $r_x = 73,42005$ мм (точка A на рис.1) определим уравнение касательной, уравнение нормали, нормальную глубину резания и отношение глубин резания t_v/t_n для каждой точки эвольвентного профиля. В соответствии с технологией зубошлифования зададим вертикальную глубину резания $t_v = 0,074$ мм. Тогда для $r_x = 73,42005$ мм по уравнениям (1)-(3) определяем координаты точки A : $X(A)=2,769021$ мм; $Y(A)=73,367815$ мм. Уравнение касательной (линия 2 на рис.1) имеет вид: $y_k = 73,367815 + 2,999264(x_k - 2,769021)$. Уравнение нормали (линия 3 на рис.1): $y_n = 73,367815 - \frac{1}{2,999264}(x_n - 2,769021)$. Уравнение новой эвольвенты (рис.1, а) $Y' = Y + 0,074$. Точка пересечения нормали и новой эвольвенты (точка B) имеет радиус-вектор $r_x = 73,352629$ мм и координаты (рис.1, а): $X(B) = 2,74693$ мм; $Y(B)=73,375177$ мм. Следовательно, нормальная глубина резания (длина отрезка AB) составит $t_n = 0,023285$ мм (рис.2, а), а отношение $t_v/t_n = 3,177953$. Аналогичные расчёты проделаны для второго ЗК в интервале $154,1096 < r_x < 172,562$ мм (рис.2, б).

Выводы. 1. Отношение мгновенных глубин резания при зубошлифовании методом копирования (вертикальной глубины t_v к нормальной глубине t_n) носит экспоненциальный характер, всегда больше 1, изменяется от 2 до 10 в направлении от вершины впадины (tip flank) к её нижней части (root flank). В средней части профиля это отношение близко к величине $1/\sin \alpha$, где α – угол профиля. Например, при $\alpha = 20^\circ$, $1/\sin \alpha = 2,96$. **2.** Указанное отношение глубин резания в диапазоне обычных глубин зубошлифования t_v , т.е. в интервале от 0,037 до 0,074 мм, практически не зависит от вертикальной глубины резания. Даже при $t_v = 1$ мм (многократно завышенная вертикальная глубина) при r_x , изменяющемся от середины до нижней части эвольвенты отношение глубин имеет практически те же значения, что и при обычных глубинах 0,037 ... 0,074 мм. **3.** Описанная методика определения мгновенных глубин шлифования позволяет получить исходные данные для определения тепловых потоков и температуры профильного зубошлифования в любой точке эвольвентного профиля шлифовального круга.

Список литературы: 1. *Türich A.* Innovative concepts for grinding wind power energy gears / *A. Türich, C. Kobiálka, D. Vucetic* // Gear technology. – June 2009. – P. 39-44. **2.** *Brecher C.* Local simulation of the specific material removal rate for generating gear grinding / *Christian Brecher, Fritz Klocke, Markus Brumm, Florian Hübner* / Gear Technology. – September/October 2015. – P.86-90. **3.** *Gorgels C.* Optimization of the gear profile grinding process utilizing an analogy process / *Christof Gorgels, Heiko Schlattmeier, Fritz Klocke* // Gear technology. – November/December 2006. – P.34-41. **4.** *Ларшин В.П.* Технология многониточного резьбошлифования прецизионных ходовых винтов / *В.П. Ларшин* // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1999. – Вып.2(8) . – С. 87-91. **5.** *Родин П.Р.* Металлорежущие инструменты. Учебник для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. / *П.Р. Родин*. – К.: Вища школа, 1986. – 455 с. **6.** *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т., Т.2. – 5-е изд., перераб. и доп. / *В.И. Анурьев*. – М.: Машиностроение, 1978. – 559 с. **7.** *Лищенко Н.В.* Определение интенсивности зубошлифования на основе аналитического уравнения эвольвенты / *Н.В. Лищенко* // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 11. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – С. 150-162. **8.** *Бронштейн И.Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / *И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев*. – М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 720 с.

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С МИНИМАЛЬНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ СУХИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМАЗОК

Стрельчук Р. М., канд. техн. наук

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Представлены результаты исследований процесса алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с применением технологии минимальной смазки. Показано, что использование сухой углеводородной среды специального состава вместо жидкости поливом обеспечивает меньшую напряженность процесса и более высокую работоспособность алмазных кругов.

Ключевые слова: алмазно-искровое шлифование, твердые сплавы, алмазный круг, технология минимальной смазки

Представлено результати дослідження процесу алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів із застосуванням технології мінімального змащення. Показано, що використання сухого вуглеводневого середовища спеціального складу замість рідини поливом забезпечує меншу напруженість процесу та більшу працездатність алмазних кругів.

Ключові слова: алмазно-іскрове шліфування, тверді сплави, алмазний круг, технологія мінімального змащення

Results of investigations of diamond-spark grinding of hard alloys with application of technology of minimum quantity lubrication are presented. It is shown that use of dry hydrocarbon agents of special composition instead of jet flushing is provided less intensity of the process and higher working capacity of diamond wheels.

Keywords: diamond-spark grinding, hard alloys, diamond grinding wheel, minimal lubrication technology

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) в настоящее время применяется в металлообработке в основном в качестве жидких сред поливом. При этом можно отметить, что в технически развитых странах расходы при использовании таких СОТС часто даже превышают расходы по использованию металлорежущих инструментов. Это связано с неизбежными затратами на приготовление СОТС, транспортировку, их дальнейшую регенерацию и утилизацию; кроме того, особенно в последнее время, первостепенное значение приобретают экологические аспекты, связанные с использованием СОТС, они могут быть токсичны, вредны для здоровья.

С учетом изложенного, если позволяют условия обработки резанием, применяются так называемая техника минимальной смазки или сухая обработка, что является весьма перспективным направлением [1].

Следует отметить, что если на операциях точения, торцевого фрезерования, сверления и некоторых других, технология минимального применения смазки и охлаждения, также как и сухая обработка применяется с различными соотношениями эффективности, то при обработке шлифованием по имеющейся информации применение минимальной смазки и охлаждения не эффективно, а сухая обработка вообще не рассматривалась.

Поэтому минимизация применения сухой твердой смазки особенно в таком технологическом процессе как алмазно-искровое шлифование и исследование его особенностей представляется важной производственной задачей. Более того, учитывая, что рассматриваются вопросы шлифования твердых сплавов алмазными кругами на износостойкой и склонной к засаливанию металлической связке, поставленная задача представляется весьма актуальной.

Как известно, шлифование твердых сплавов кругами на металлических связках целесообразно производить с введением дополнительной энергии в зону резания в виде электрических импульсов с помощью специальных генераторов; это процесс алмазно-искрового шлифования (АИШ) [2], в котором в качестве наиболее распространенной рабочей среды используются 0,5-3 % водные растворы соды струйным поливом.

В дополнение к изложенным ранее недостаткам использования СОТС поливом применительно конкретно к процессу шлифования к ним можно отнести и следующее: неудобства и трудности, связанные с применением многопозиционных приспособлений, шлифованием и заточкой многолезвийных инструментов, практически закрытой зоной обработки, разбрызгиванием СОТС при выводе изделий из зоны контакта и другое.

Поэтому в качестве альтернативного способа с использованием принципа подачи сухой смазки в необходимом количестве вместо полива предложено применение твердых экологически чистых углеводородов различной модификации (парафиноподобные). Используемая сухая смазка является диэлектрической средой, способствует инициированию электрических разрядов, обеспечению устойчивого режущего рельефа рабочей поверхности алмазных кругов и достижению стабильных условий его взаимодействия с обрабатываемым материалом. Столбик необходимого сечения из подобранной смеси определённого состава различных углеводородов с помощью простого устройства с небольшим усилием (3-5 гр) прижимается и постоянно контактирует с рабочей поверхностью алмазного круга.

Для выбора оптимального варианта смеси различных углеводородов с позиций каплепадения использовались парафин, стеариновая кислота (стеарин) и себациновая кислота, имеющая наибольшую из перечисленных средств температур ($T = 134 \text{ }^\circ\text{C}$).

Эксперименты проводились с помощью установки, созданной на базе универсально-заточного станка ЗВ642. Для реализации процесса АИШ станок был модернизирован; обрабатывались пластины твердого сплава Т1 5126 формы 0227. Образцы шлифовались алмазным кругом 12А2-45АС6-100/80 М1-01-4. АИШ производились с обратной полярностью, частота импульсов 88 кГц; нормальное давление $P_n = 1,2 \text{ МПа}$, скорость резания $V = 25 \text{ м/с}$.

Результаты анализа различных вариантов использования углеводородных смазок в сравнении с применяемыми традиционными СОТС поливом (3 % содовый раствор воды) представлены в таблице.

На основании анализа результатов экспериментов с различными диэлектрическими средами установлено, что АИШ с использованием смеси равных частей стеарина и себациновой кислоты можно считать наиболее целесообраз-

ным, так как при этом обеспечивается при большей производительности сравнительно меньшие значения удельной себестоимости и относительного расхода алмазов. Поэтому особенности взаимодействия алмазных кругов с обрабатываемым твёрдым сплавом при АИШ изучались с минимально подаваемой в зону резания сухой смазкой выявленного состава.

Таблица

Значения показателей работоспособности алмазных кругов при различных диэлектрических средах

Диэлектрическая среда	Производительность Q , мм/мин	Относительный расход алмазов q , мг/гр	Удельная себестоимость C , коп/см
СОТС, струйный полив	549,8	1,76	6,92
Стеарин	567,4	1,63	6,41
Себациновая кислота	525,7	1,87	7,63
Смесь равных частей стеарина и себациновой кислоты	628,3	1,52	6.14

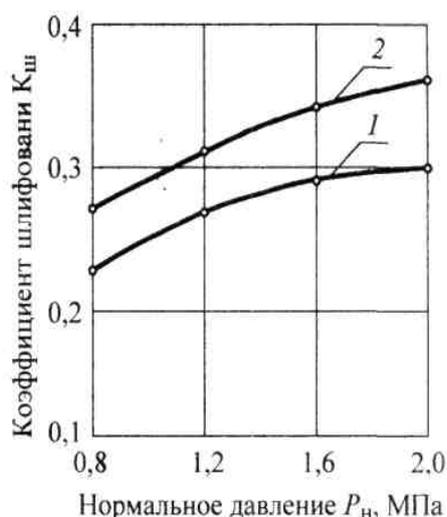


Рис. 1 – Влияние нормального давления на коэффициент шлифования: 1 – сухая смазка; 2 – СОТС поливом; $V = 25$ м/с; круг 12А2-45АС6-100/80 М1-01-4

сред в зоне резания характеризуется его практически незаметным изменением для СОТС поливом и увеличением для сухой углеводородной смазки (рис. 2).

Отмеченный характер изменения зависимости $K_{ш}$ (кривая 2) объясняется постоянством сил резания, что, по-видимому, обусловлено практически неизменным значением коэффициента трения в зоне контакта алмазных зёрен с твёрдым сплавом в зоне высоких скоростей взаимодействия. Известно также, что, например, при тонком алмазном точении материалов, не вступающих в адгезионное взаимодействие с алмазом, силы резания с ростом скорости точения не изменяются [5].

Удобным критерием, характеризующим особенности и напряженность процесса шлифования и отражающим состояние развитости режущего рельефа кругов, является коэффициент шлифования ($K_{ш}$), который оценивается как отношение тангенциальной силы (P_z) к радиальной P_y [3, 4]. При постоянно задаваемой силе P_y (упругая схема шлифования), измерение силы P_z производилось с помощью специального динамометра. Изучалось влияние различных факторов, а значит и различных условий контактного взаимодействия рабочей поверхности алмазного круга со шлифуемой поверхностью твёрдого тела. Влияние нормального давления на $K_{ш}$ представлено на рис. 1.

Зависимость коэффициента $K_{ш}$ от скорости шлифования для разных технологических

Увеличение коэффициента шлифования (кривая 1) при изменении скорости резания можно объяснить ростом мгновенного сечения среза, которое зависит от количества одновременно контактирующих рабочих зёрен; число этих зёрен определяется реальной шероховатостью обрабатываемой поверхности.

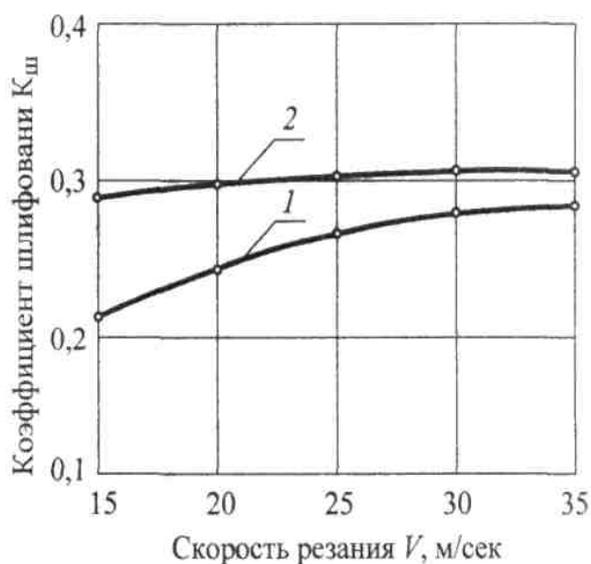


Рис. 2 - Влияние скорости резания на коэффициент шлифования: 1 – сухая смазка; 2 – СОТС поливом; $P_n = 1,2$ МПа; круг 12A2-45AC6-100/80 M1-01-4

Как известно шероховатость поверхности с ростом скорости резания снижается, что способствует меньшей вероятности мгновенного проскальзывания алмазных зёрен и их микроромок вне контакта с микронеровностями обрабатываемой поверхности твёрдого сплава и более полному контакту зёрен по ширине с выступами микронеровностей. Увеличение вероятности удаления материала и числа контактирующих с ним зёрен при повышении скорости было установлено также при обычном абразивном шлифовании [6, 7].

Следовательно, изменяющиеся с увеличением скорости резания условия взаимодействия устойчиво развитого режущего рельефа алмазного круга с обрабатываемым материалом способствуют росту мгновенного сечения среза, а значит, и тангенциальной силы резания, что и вызывает повышение коэффициента шлифования.

Кроме изложенных результатов экспериментов, объясняющих характер зависимостей, представленных на рис. 1 и рис. 2, можно сделать общий вывод, что значения $K_{ш}$ при АИШ твёрдых сплавов с сухой углеводородной смазкой меньше, чем при обычном шлифовании с СОТС поливом, а значит меньше и напряженность процесса шлифования.

Список литературы: 1. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с. 2. Беззубенко Н. К. Место нового процесса алмазно-абразивно-искрового шлифования в ряду комбинированных электрохимических и электротехнических методов обработки / Н. К. Беззубенко // Резание и инструмент. – 1974. – Вып. 9. – С. 133-139. 3. Муцянюк В.И. Коэффициент шлифования как критерий оценки процесса / В.И. Муцянюк, В.И. Островский // Тр. ВНИИАШ. – 1965. – № 1. – 340 с. 4. Попов С. А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твёрдых сплавов / А.С. Попов, П.П. Малевский, А.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 5. Зубарь В. П. Исследование особенностей трения синтетических поликристаллических алмазов с конструкционными материалами / В.П. Зубарь, В.К. Крюков, В.В. Алмосов // Резание и инструмент. – 1975. – Вып 13. – С. 54–58. 6. Королёв А.П. Исследование процесса образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.П. Королёв. – Саратов, 1975. – 189 с. 7. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новосёлов. – Саратов, 1979. – 232 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ С ПЛАСТИНАМИ МАРКИ АТПМ

Руднев А.В., науч. сотрудник

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Представлено результати досліджень і аналіз інжинірингу якості дрібнозернистих алмазно-твердосплавних пластин після алмазно-іскрового шліфування. Показано, що вартісна оцінка якості є важливим фактором при оцінці технологій і способів виготовлення виробів.

Ключові слова: аналіз якості, дрібнозернисті алмазно-твердосплавні пластини

Представлены результаты исследований и анализ инжиниринга качества мелкозернистых алмазно-твёрдосплавных пластин после алмазно-искрового шлифования. Показано, что стоимостная оценка качества является важным фактором при оценке технологий и способов изготовления изделий.

Ключевые слова: анализ качества, мелкозернистые алмазно-твёрдосплавные пластины

The results of the research and the quality of the engineering analysis of fine-grained diamond-carbide plates after the diamond-spark grinding. It is shown that the valuation of quality is an important factor in the evaluation of technologies and methods for the manufacture of products.

Keywords: quality analysis, fine-grained diamond-carbide inserts

Лезвийный инструмент из сверхтвёрдых материалов находит широкое применение в различных отраслях промышленности. Особый интерес при этом представляет алмазный инструмент, используемый на чистовых и финишных операциях. Резцы из синтетических поликристаллических алмазов имеют высокую размерную стойкость (кроме сохранения режущих свойств, сохраняются также заданные размеры обрабатываемых поверхностей), улучшают качество обработанной поверхности, способствуют повышению надёжности и долговечности изготавливаемых деталей. Стойкость резцов из синтетических поликристаллических алмазов в среднем в 6 - 10 раз выше по сравнению со стойкостью твёрдосплавных резцов, что позволяет повысить производительность обработки не менее чем в 1,5 - 2 раза. Особенно хорошие результаты даёт применение алмазных резцов на станках с программным управлением и автоматических линиях. Поэтому к лезвийному инструменту из алмаза предъявляются повышенные требования по точности и качеству.

Показателями качества инструмента принято считать шероховатость поверхности, радиус округления, прочность кромки на микроскалывание, физическое состояние поверхностного слоя. Отмеченные показатели качества шлифованных поверхностей не однозначно влияют на предполагаемую работоспособность (стойкость) заточенного инструмента.

Оценка, сравнение и анализ качественных характеристик изделий и инструмента в стоимостном выражении является перспективным направлением. Особенно важно оценивать надёжность инструмента в стоимостном выражении при создании и появлении новых инструментальных материалов. Потребителя интересует надёжность приобретенной продукции, экономическая целесооб-

разность её применения. Проблему качественного результата следует рассматривать не только и даже не столько при изготовлении изделий и инструмента, сколько в процессе их эксплуатации.

Существует множество подходов, реализующих идею инжиниринга качества. Основной же его идеей следует считать необходимость постоянного совершенствования процессов и как следствие качества продукции. Согласно методу Тагути [1], качество не должно рассматриваться как мера соответствия требованиям стандартов, т.к. зачастую не просто требуется факт нахождения показателя в пределах допуска, а учёт фактора неравноценности значений показателя внутри допуска.

Основываясь на идее инжиниринга качества, был проведен анализ исследуемого процесса шлифования алмазно-твёрдосплавных пластин марки АТПМ и работоспособности инструмента из них. Для этого целесообразно рассмотреть важнейшие составляющие суммарной технологической себестоимости, т.е. необходимо учесть стоимость обработки (заточки) режущего инструмента и стоимость его эксплуатации. Суммарная технологическая себестоимость выступает в данном случае в качестве интегрального показателя качества [2], который можно сравнить с функцией надёжности Тагути.

Для оценки реального состояния инструмента после шлифования в условиях эксплуатации, что важно для потребителя, применяется критерий, который оценивает интегральный показатель качества. Этот критерий учитывает стойкость инструмента, характеризующую длиной пути резания в метрах (L , м) и соответственно себестоимость механической обработки резанием, а также удельную себестоимость шлифования и представляет собой суммарную технологическую себестоимость (C_m , коп/мин). Таким образом, фактически оценивается надёжность инструмента в стоимостном выражении.

Стойкость, выраженная длиной пути резания, выбрана в качестве критерия оптимизации. Во многих случаях, особенно после шлифования инструментов по жёсткой схеме, оптимальные режимы и характеристики кругов, обеспечивающие минимальную удельную себестоимость шлифования, необходимо корректировать с учётом стойкости инструмента.

Технологическая себестоимость рассчитывалась по известной методике [3]. Формула для технологической себестоимости (C_m , коп/мин) имеет вид:

$$C_m = 70,79 + \frac{16100 \cdot V}{4L} + \frac{1,9C_{ш} \cdot V}{4L}.$$

где $C_{ш}$ – удельная себестоимость шлифования (заточки), коп/см³; L – длина пути резания, м.

Таким образом, изменение технологической себестоимости определяется влиянием двух факторов – себестоимостью шлифования и стойкостью инструмента. Стойкость инструмента зависит от условий шлифования и геометрии заточки.

Заточка резцов проводилась на универсально–заточном станке модели 3Д642Е, модернизированном для обработки методом алмазно–искрового шлифования (АИШ). Шлифование осуществлялось с обратной полярностью подсоединением положительного полюса источника питания к алмазному кругу, а отрицательного – к обрабатываемому материалу. Источником питания являлся

специальный генератор импульсов. Электрические режимы составляли: величина технологического тока $I_{cp} = 5A$, частота электроимпульсов $f = 44$ кГц, скважность $n_{скв} = 2$. Пластины шлифовались кругом 12A2 AC6 100/80 M1-01 4. Скорость резания составляла 25 м/с. Поскольку при постоянной геометрии инструмента наиболее существенное влияние на его стойкость оказывают механические режимы шлифования и, прежде всего, поперечная подача ($S_{поп}$, мм/дв.ход), от которой в значительной степени зависит производительность и себестоимость обработки, то поперечная подача была принята в качестве варьируемого фактора ($S_{поп} = 0,005 - 0,011$ мм/дв.ход).

Стойкостные испытания проводились на токарно-винторезном станке модели 16K20. При проведении стойкостных испытаний заточенных на различных режимах резцов, в качестве обрабатываемого материала принят алюминиевый сплав марки АЛ26, содержащий 14,5% кремния. При обработке материалов этой группы (медные и алюминиевые сплавы с твёрдыми включениями) обнаруживается медленный регулярный износ инструмента, который носит усталостно-механический характер [4]. Износ здесь не связан с температурой в зоне резания, так как её уровень низкий.

Скорость резания выбиралась по рекомендациям [4] и была принята равной 3 м/с (180 м/мин). Глубина резания – 0,1 мм. В качестве варьируемого фактора при точении была принята подача $S_o = 0,1 - 0,3$ мм/об. Критерием износа резца был принят износ по задней поверхности равный 0,1 мм.

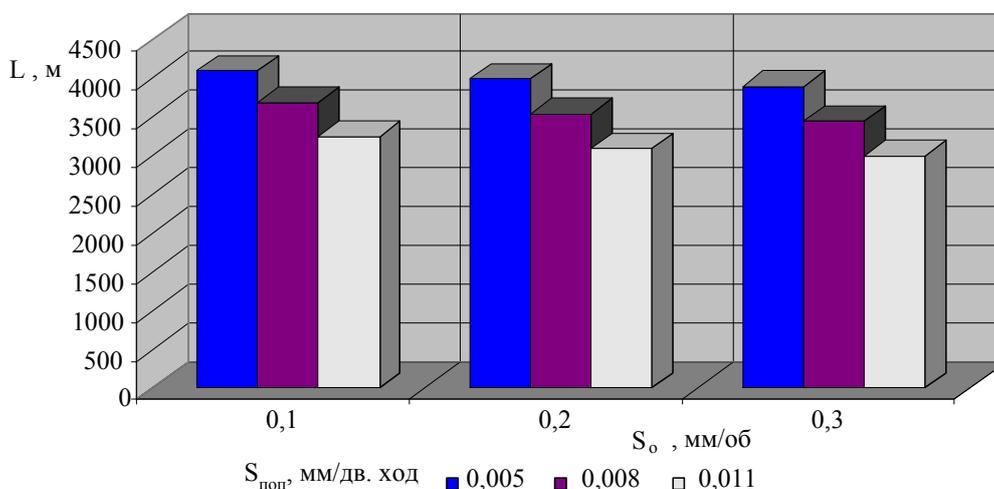


Рис. 1 – Зависимость длины пути резания пластин АТПМ от поперечной подачи при шлифовании

Длина пути резания рассчитывалась по формуле:

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot S} \cdot i, \text{ м}$$

где D – диаметр заготовки, мм; l – длина заготовки, мм; S – подача, мм/об; i – число проходов.

Результаты стойкостных испытаний представлены на рис. 1.

Имея данные стойкостных испытаний, рассчитаем технологическую себестоимость. Влияние стойкости лезвийного инструмента, выраженной длиной пути резания показано на рис. 2.

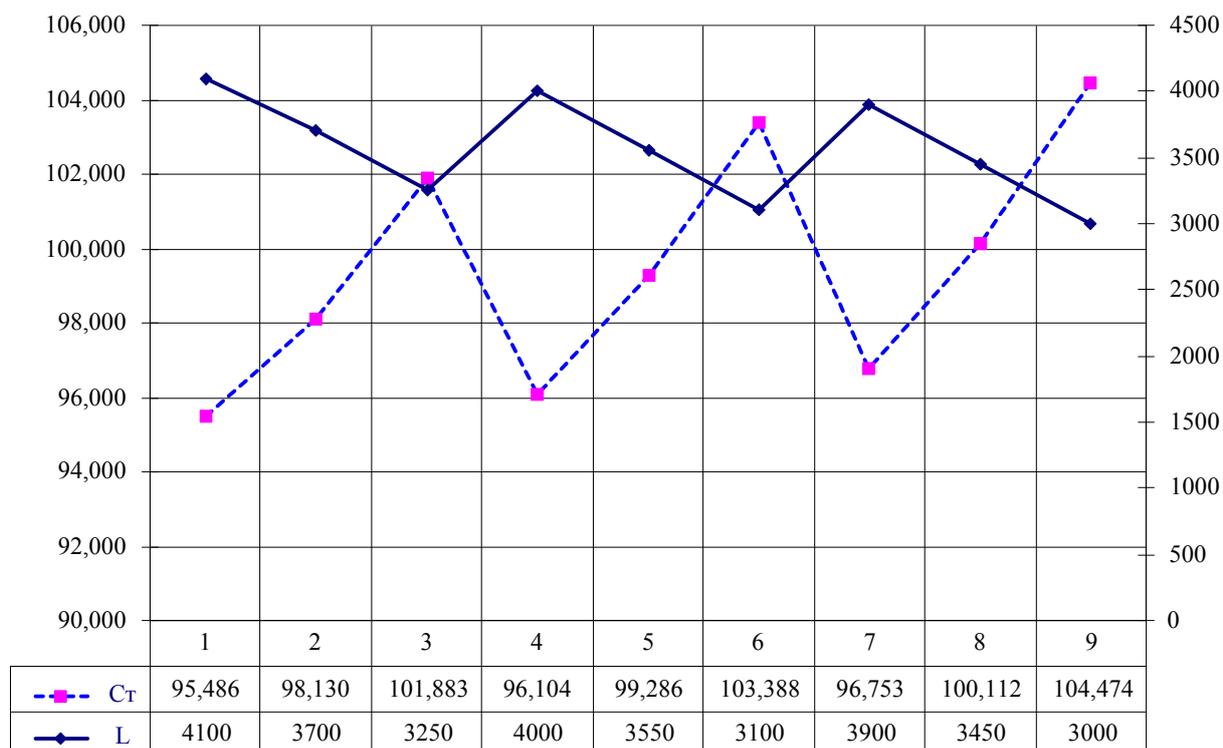


Рис. 2 – Зависимость технологической себестоимости (Ст) от длины пути резания (L, м) при точении

При увеличении поперечной подачи одновременно растёт производительность шлифования, что приводит к снижению себестоимости шлифования. Однако при этом стойкость обработанных пластин резко снижается (рис.1).

Как видно из рис. 2, максимальной стойкости пластин соответствует минимальная технологическая себестоимость. Т.е. дополнительные затраты при заточке лезвийного инструмента (шлифование при минимальной поперечной подаче для получения высокого качества пластин) перекрываются экономией при эксплуатации его у потребителя. Иными словами, качество обработки лезвийного инструмента из алмаза является доминирующим экономическим критерием при его изготовлении. На основании изложенного можно утверждать, что качественные характеристики процессов обработки можно определять в стоимостном выражении, и следовательно стоимостная оценка качества несомненно является важным фактором при сравнительной оценке различных технологий и способов изготовления изделий.

Список литературы: 1. Лapidус В. А. Гуру менеджмента качества и их концепции: Э. Деминг, Дж. Джуран, Ф. Кросби, К. Исикава, А. Фейгенбаум, Т. Тагути / Лapidус В. А. // <http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/mech/tsunikova/library/2.htm>. 2. Узунян М. Д. Инжиниринг качества шлифования / Узунян М. Д. // Резание и инструмент в технологических системах. – 2005. – Вып. 69. – С. 329 – 334. 3. Крючков В.Я. Технологическая себестоимость обработки инструментами из безвольфрамовых твердых сплавов / Крючков В.Я., Узунян М. Д. // Сб. докл. всесоюз. науч.-техн. конф.: Перспективы развития резания конструкционных материалов. – М., 1980. – С. 226–232. 4. Лезвийный инструмент из сверхтвёрдых материалов: Справочник / Н. П. Винников, А. И. Грабченко, Э. И. Гриценко и др.; Под общ. ред. акад. АН УССР Н. В. Новикова. – К.: Тэхника, 1988. – 118 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ УДАРНОЇ ОБРОБКИ БАГАТОШАРОВИХ ВИРОБІВ З КРИХКИХ ТА ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Добротворський С.С., докт. техн. наук, проф.,
Басова Є.В., канд. техн. наук, **Подріз Є.Г.**, магістр
(Національний технічний університет «ХПИ», Харків, Україна)

Проведено чисельні дослідження поведінки різноманітних матеріалів при дії на них ударних навантажень, що супроводжують процес високошвидкісної обробки. Встановлені закономірності поведінки процесу руйнування матеріалу від швидкості прикладеного навантаження.

Ключові слова: ударне навантаження, високошвидкісна обробка, CAD/CAE моделювання, крихкі матеріали.

Проведены многочисленные эксперименты поведения различных материалов при воздействии на них ударных нагрузок, сопровождающих процесс высокоскоростной обработки. Установлены закономерности поведения процесса разрушения материала от скорости приложенной нагрузки.

Ключевые слова: ударная нагрузка, высокоскоростная обработка, CAD/CAE моделирования, хрупкие материалы.

Numerical experiments the behavior of various materials when subjected to shock loads accompanying the process of high-speed processing were presented. The regularities of the behavior of the destruction process of the material on the speed of the applied load were established.

Keywords: shock load, high-speed machining, CAD / CAE modeling, brittle materials.

Математичне моделювання процесів, явищ, об'єктів і систем дає змогу глибше проникнути в їх суть, знаходити властивості, виявляти закономірності, прогнозувати еволюцію й активно керувати процесами їх функціонування. В порівнянні з фізичним, математичне моделювання є економічно вигіднішим як за трудомісткістю, так і за вартістю [1, 2].

Виконана робота полягає в моделюванні технологічних процесів високошвидкісної ударної обробки багатошарових виробів з комбінованого матеріалу, а саме оксиду алюмінію (Al_2O_3), полікарбонату і скла.

На початковому етапі моделювання актуальність дослідження обумовлена потребою в прогнозуванні деформування і руйнування комбінованих перешкод при наявності в ній декількох шарів з різних матеріалів, а також в якісній оцінці запреградного впливу тіл. Інтерес до даних досліджень обумовлений, широким застосуванням ударників в балістиці, застосуванням пластин з різними властивостями.

Механічні властивості керамічних матеріалів у великій мірі залежать від структури матеріалу, яка формується в ході технологічного процесу синтезу виробу. При проектуванні ударних навантажень необхідно оцінити динамічну міцність і стійкість керамічного матеріалу, так як труднощі обробки обумовлені нерівномірним розподілом жорсткості.

За рахунок механічної обробки вдається провести лише деяку корекцію розмірів і геометрії виробів. На відміну від металів і сплавів, механічні властивості керамічних матеріалів при стискаючих і розтягуючих навантаженнях

різні, і залежать істотно від умов деформації (амплітуди, температури, тривалості дії напруг, швидкості деформації), а також від самої структури.

Одним з етапів проектування є перевірка на міцність, розглянуті інженерні методи розрахунку стійкості багатошарових структур. На основі створеної деталі за допомогою програмного пакета COMSOL Multiphysics був чисельно змодельований фізичний процес, який має місце при ударній дії, що в подальшому дає можливість прогнозувати результат того, як поведе себе даний матеріал при високошвидкісній обробці.

У результаті чисельного експерименту була вирішена задача наскрізного циклу моделювання, починаючи з створення твердотільної моделі і закінчуючи аналізом результатів. Виконано оцінку динамічної міцності комбінованих перешкод при наявності в них декількох шарів з різних матеріалів.

Подальшому експерименті планується дослідити та змодельовати залежність товщини матеріалу від швидкості обробки.

Розвиток чисельно-аналітичного апарату для прогнозування поведінки керамічних матеріалів і елементів конструкцій при високошвидкісній обробці відкриває нові можливості проведення фундаментальних і прикладних досліджень в експериментальній фізиці твердого тіла, конструюванні нових об'єктів авіаційної, військової техніки, машинобудуванні, теплоенергетиці.

Список літератури: 1. Моделирование процесса высокоскоростного фрезерования закалённых сталей методом конечных элементов / С.С. Добротворский, Е.В. Басова, С.А. Щучев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2012. – №55. – С. 20-27. 2. Добротворський С. С. Комп'ютерне проектування та моделювання технологічних процесів високошвидкісного фрезерування загартованих сталей / С. С. Добротворський, Е. В. Басова, Л. Г. Добровольська // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: збірник наукових праць. – 2015. – № 822. – С. 7–13.

УДК 621.923

ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА ОБРОБКА ТИТАНОВИХ І АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Лещенко О.В., студент 6 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянута електроерозійна обробка титанових та алюмінієвих сплавів, виявлені відмінності їх обробки, доведено перевагу електроерозійної обробки цих сплавів в порівнянні з іншими видами обробки, доведення базується на основі властивостей матеріалу.

Ключові слова: електроерозійна обробка, титан, алюміній, машинобудування, хімічна активність, технологічність.

Рассмотрена электроэрозионная обработка титановых и алюминиевых сплавов, обнаруженные различия их обработки, доказано преимущество электроэрозионной обработки этих сплавов по сравнению с другими видами обробки, доведение базируется на основе свойств материала.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, титан, алюминий, машиностроение, химическая активность, технологичность.

In this article we have considered electrical discharge machining of titanium and aluminum alloys, the differences of their treatment, proven advantage of electrical discharge machining of these alloys in comparison with other types of finishing finishing is based on the properties of the material.

Keywords: EDM, titanium, aluminum, machinery, chemical reactivity, workability.

Інтенсивне використання електроерозійної обробки (ЕЕО) в даний час обумовлено дуже динамічним розвитком як вітчизняного, так і світового машинобудування. З'являються нові види сплавів високої твердості, які все частіше застосовуються в конструкціях і тому вимагають спеціальних ефективних методів обробки. Разом з тим в промисловості існує постійна тенденція до створення і використання більш легких деталей складнішої форми. З кожним роком конструктивні форми деталей ускладнюються, підвищується їх точність і вимоги до фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Перед машинобудуванням гостро стоїть завдання інтенсифікації виробничих процесів виготовлення продукції, при цьому продукція повинна задовольняти найвищим вимогам якості. Висока гнучкість і технологічність методів ЕЕО дозволяє успішно вирішити ці завдання. Накопичений досвід застосування електроерозійної обробки (ЕЕО) у машинобудуванні та приладобудуванні свідчать про її конкурентоспроможності в порівнянні з механічною обробкою різанням, що особливо проявляється при обробці важкооброблюваних електропровідних матеріалів, виготовленні деталей складної конфігурації, прошивки з'єднувальних каналів в корпусних деталях і т.п. [1–4].

Титанові та алюмінієві сплави на сьогоднішній день в машинобудуванні займають дуже вагому частку. Ці види матеріалів, що використовуються в загальному машинобудуванні, так і в таких специфічних та наукоємних галузях, як літако, корабле і ракетобудуванні. Це викликано відмінними фізичними, хімічними та іншими особливостями матеріалів.

Титан найбільш поширений конструкційний матеріал, що становить основну підгрупу IV групи періодичної системи Менделєєва Д. І. (табл. 1).

Таблица 1

Фізичні властивості титану

Фізичні параметри	Значення
щільність, кг/м ³ при 20 °С при 900 °С	4505 4302
Температура плавлення, °С: Температура кипіння, °С	1668 3260
питома теплота, кДж/кг плавлення кипіння поліморфного перетворення	358 8970 67800
питома теплоємність при 20 °С, кДж/(кг·К)	0,54
коефіцієнт теплопередачі при 20 °С, Вт/(м·К)	18,85
електропровідність, См/м	1,73·10 ⁶

Титан має ряд відмітних ознак у порівнянні з залізом, алюмінієм і магнієм. Щільність титану значно нижче, ніж у заліза, а температура і теплота плавлення і кипіння вище. Він має і більш високу, ніж залізо, питомаю теп-

лоємністю. Звідси і високі витрати енергії для розплавлення титану, у багато разів перевершують витрати енергії на розплавлення заліза. Коефіцієнт теплопровідності титану майже в 4 рази менша, ніж у заліза. Титан хімічно активний метал, легко вступає в реакції з газами атмосфери киснем, воднем і азотом. З підвищенням температури його реакційна здатність підвищується. Титан відноситься до хімічно активних металів, однак він володіє високою корозійною стійкістю, як і алюміній, так як на їх поверхні утворюється стійка оксидна плівка, яка міцно пов'язана з основним металом і виключає його безпосередній контакт з корозійним середовищем.

Механічна обробка деталей з титанових сплавів істотно ускладнена через високе відношення межі текучості до межі міцності, відносно низькій теплопровідності, налипання титану на інструмент, високої хімічної активності по відношенню до газів при підвищених температурах різання, неоднорідності властивостей шару, що зрізається внаслідок ліквідації легуючих елементів. Істотними недоліками традиційної механічної обробки різання є: порушення цілісності волокон металу; розпушення поверхневого шару; поява розтягуючих напружень; взаємодія поверхневого шару сплаву з газами атмосфери, в результаті чого відбуваються хімічні перетворення, що знижують характеристики сплаву; зниження твердості та створення мікрогеометрії.

Особливо небезпечним недоліком можна вважати вплив водню з атмосфери у вигляді проникнення газу в структуру поверхневого шару і хімічних взаємодій з титаном (утворення гідридів) які значною мірою знижують міцність поверхневого шару і призводять до утворення тріщин. У цьому зв'язку електроерозійна обробка є відмінним варіантом обробки на увазі того, що обробка ведеться в рідкому діелектрику, а значить доступ атмосферних газів до зони обробки значною мірою ускладнена. Утворення гідридів відбувається тільки в результаті хімічного руйнування робочої рідини, однак хвора частина провзаємодіяного металу з воднем видаляється з поверхні матеріалу після руйнування каналу розряду. Наявність в рідкому діелектрику розчиненого кисню сприяє утворенню захисної оксидної плівки з TiO_2 . При підвищених температурах в зоні обробки швидкість поглинання водню титану значно падає при наявності оксидної плівки на поверхні титану. Локальний характер обробки, а так само низька теплопровідність титану і наявність робочої рідини в якості охолоджуючого засобу виключає можливі температурні зміни в металі, тому розшарування металу не відбувається, як не відбувається і виникнення різного роду побічних напруг, мається на увазі відсутність контакту інструмента і заготовки при обробці.

Алюміній і його сплави, як правило, не є традиційними матеріалами для електроіскрової обробки. Це пов'язано з тим, що алюмінієві сплави мають невелику твердість і міцність і досить добре обробляється різанням. Однак сучасні умови машинобудування змушують конструювати і виготовляти деталі дуже складної конфігурації. Таке становище характерно, як правило, для авіакосмічної промисловості, а так само для прогресивного автомобілебудування. Обробка таких деталей різанням або ускладнена або неможливо в принципі. Виправдане використання електроерозійного способу отримання деталей. Саме тому

на сьогоднішній день існує завдання щодо вдосконалення технології обробки таких матеріалів за допомогою електричної ерозії.

Обробка алюмінієвих сплавів має свої яскраві особливості. Одна з таких особливостей яскраво показано в роботі [1]. Автор проводив дослідження теплових явищ при обробці трьох видів матеріалів: сталь 45, титановий сплав ВІД-4, алюмінієвий сплав АК-4. Результатами досліджень стали висновки про фактори, що впливають на зміну температури в процесі електроерозійної обробки. Також в якості результатів були приведені експериментальні закономірності, отримані в результаті обробки вищезазначених матеріалів (рис. 1, рис. 2).

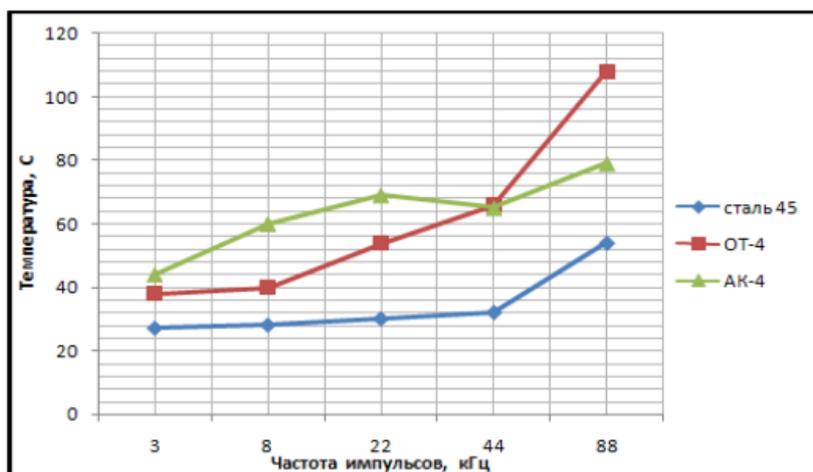


Рис. 1 – Залежність температури від зміни частоти імпульсів

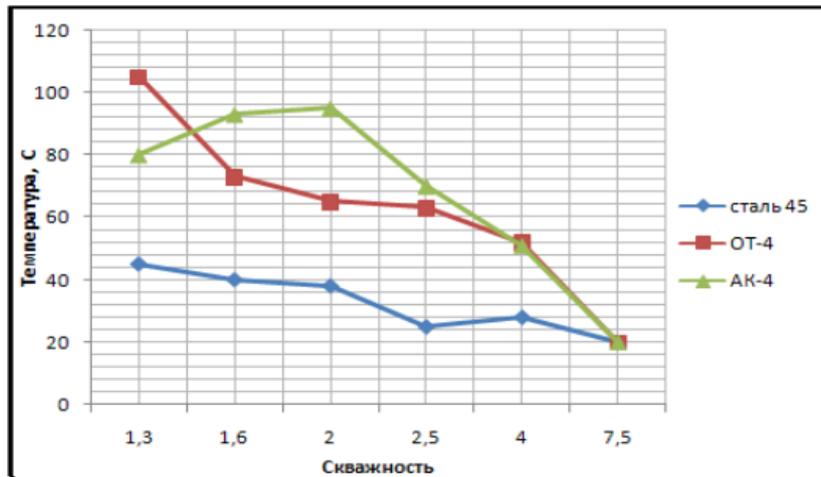


Рис. 2 – Залежність температури від зміни шпаруватості

Як видно з наведених рисунків, ситуація з концентрацією теплової енергії в алюмінієвому сплаві схожа з титановим сплавом, а часом навіть дещо більше. Це вельми парадоксальне явище з огляду на те, що коефіцієнт питомої теплопровідності в алюмінію на порядок більше, ніж у титану, і майже в 3 рази більше, ніж у сталі. До всього іншого у алюмінієвому сплаві дуже високий коефіцієнт питомої теплоємності, який свідчить про кількість теплової енергії, яку потрібно дати одному граму (кілограму) для того, щоб він змінив свою температуру на один градус Цельсія (Кельвіна). Все це свідчить про те, що процес пробою має на алюміній і його сплави свої характерні особливості, що

викликають концентрацію теплової енергії в зоні обробки. Логічно припустити, що даний факт викликаний впливом матеріалу електрода на процес пробою.

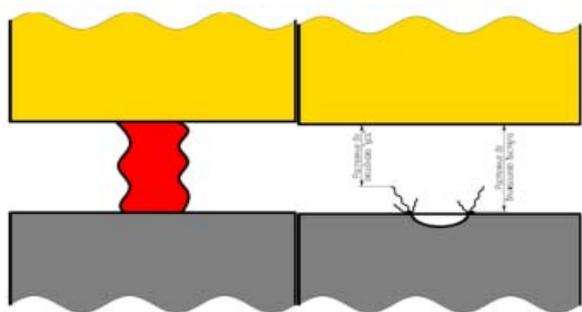


Рис. 3 – Спрощене представлення пробою на алюмінієвий сплав

Найбільш вірогідною причиною цієї аномалії є спотворення поля в проміжку «вусиками», що утворюються з окисної плівки при руйнуванні її під час розряду (рис. 3). Аналіз стану електродів у процесі вимірювань показує, що на алюмінієвих електродах наступні розряди здійснюються з країв кратера які утворюються від першого пробою. Утворення кратерів на електродах з інших матеріалів не викликає утворення

«вусиками» і практично кожен наступний пробій відбувається з нової ділянки поверхні електродів. Це явище спостерігалось у всіх експериментах в умовах однорідного або слабо неоднорідного поля. Так як відстань між електродами скорочується за рахунок оксидних утворень на аноді з алюмінієвого сплаву, наступний пробій відбувається не далеко від першої лунки. Як наслідок, кількість холостих імпульсів скорочується до мінімуму і кількість енергії, у тому числі і теплової, яка виділилась при обробці зростає. Даний ефект може бути використаний для підвищення продуктивності електроерозійної обробки деталей з алюмінієвих сплавів в тих випадках, коли обробка різанням ускладнена або зовсім неможлива.

Висновок: варіант використання електроерозійної обробки в якості фінішної для титанових і алюмінієвих сплавів вкрай доцільний з технічних та експлуатаційних причин.

Список літератури: 1. Кабалдин, Ю.Г. Повышение устойчивости процесса электроэрозионной обработки и качества обработанной поверхности на основе подходов искусственного интеллекта. Монография / Ю.Г. Кабалдин, М.Ю. Сарылов, С.В. Биленко. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2007. – 191 с. 2. Погонин А.А. Зависимость производительности и износа электрода-инструмента от его материала при электроэрозионной прошивке капиллярных отверстий [Текст] / А.А. Погонин, А.Ф. Бойко, Т.А. Блинова // Наука на рубеже тысячелетий: сб. матер. 6-й междунар. науч.-практ. конф. (Тамбов, 26-27 окт. 2009г.) / Тамбов: Тамбов. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 218-219. 3. Владыкин А.В. Повышение эффективности обработки отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных сплавов на основе применения метода электроэрозионного сверления / А.В. Владыкин, В.Ф. Макаров // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьёва. – 2010 – №2 (17) – С. 29-37. 4. Исследование процесса электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в деталях из жаропрочного сплава / Е.А. Евсин, А.А. Бельтюков, И.А. Пермяков, А.В. Владыкин // Вестник ПГТУ. – Пермь: ПГТУ, 2007 – С. 20-24. 5. Владыкин А.В. Расчёт производительности высокоскоростной электроэрозионной обработки отверстий в жаропрочном сплаве полым вращающимся электродом-инструментом / А.В. Владыкин, В.Ф. Макаров // Научно-технологические технологии в машиностроении и авиадвигателестроении (ТМ – 2012): материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию В.Ф. Безъязычного (3-5 сент. 2012 г., Рыбинск): в 2 ч. / Мин-во образования и науки РФ [и др.] – Рыбинск: РГАТУ им. П.А. Соловьёва, 2012 – Ч. II – С. 135-142.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Новіков Ф. В.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ШЛИФОВАНИЯ

Лебедев В.Г., докт. техн. наук, проф., **Клименко Н. Н.**, канд. техн. наук, доц.,
Чумаченко Т.В., канд. техн. наук, доц., **Овчаренко А.В.**, аспирант
(Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина)

Рассмотрены вопросы автоматического управления контактной температурой шлифования в целях стабилизации качественных характеристик наплавленных поверхностей тел вращения при врезном шлифовании. Определены объект управления, управляемая величина, законы управления, разработан алгоритм и блок-схема процесса управления.

Ключевые слова: температура шлифования, автоматическое управление, алгоритм управления.

Розглянуто питання автоматичного управління контактною температурою шліфування з ціллю стабілізації якісних характеристик наплавлених поверхонь тіл обертання при врізному шліфуванні. Визначено об'єкт управління, величина, якою управляють, закони управління, розроблено алгоритм і блок-схема процесу управління.

Ключові слова: температура шліфування, автоматичне управління, алгоритм управління.

The questions of automatic contact grinding temperature control in order to stabilize the quality characteristics of the weld surfaces of bodies of rotation with plunge grinding were observed. Determined control object, controlled variable, control laws, the algorithm and the block diagram of the control process.

Keywords: grinding temperature, automatic control, the control algorithm.

Введение. Для повышения ресурса деталей, работающих в тяжелых условиях, необходимо, чтобы рабочие поверхности этих деталей обладали комплексом необходимых свойств. Повышение требований к точности деталей машин, применение новых труднообрабатываемых материалов, остро поставили вопрос об эффективной чистовой обработке заготовок, придающей им окончательную точность и необходимый комплекс физико – механических характеристик. Одним из видов такой обработки, и часто единственным возможным, является шлифование.

Формирование физических свойств поверхностного слоя детали при шлифовании в значительной степени зависит от температуры в зоне контакта круга с деталью, что обеспечивает определенный фазово – структурный состав, текстуру этого слоя, напряженное состояние его. Все это оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики детали – на показатели надежности и долговечности.

Температура, возникающая в зоне контакта шлифовального круга с деталью, может иметь максимальные значения, достигающие до 1200 – 1300⁰С, что вызывает шлифовочные дефекты – глубокие изменения фазово – структурного состава поверхностного слоя, что создает благоприятные условия для образования остаточных напряжений и как следствие трещин [1]. Как известно из лите-

ратуры [2], тепловые шлифовочные дефекты снижают долговечность детали в 3–4 раза. В настоящее время, в связи появлением новых многочисленных сталей и сплавов, которые обрабатываются шлифованием, весьма актуален вопрос создания нормативной базы режимов обработки, которые, наряду с достаточной производительностью, обеспечивают высокое качество поверхностного слоя.

Громадное количество деталей, поверхности которых подвергаются наплавке при изготовлении и при ремонте это тела вращения. Естественно после наплавки, которая обеспечивает точность порядка $h9$ имеются погрешности геометрической формы деталей, которые укладываются в поля допусков. При наплавке коротких цилиндрических поверхностей таких как шейки коленвалов, распределов, шейки валов газовых турбин практически всегда имеется погрешность формы – некруглость, которая проявляется в виде овальности. Шейки валов шлифуются методом врезания с определенной величиной радиальной подачи круга. При этом в из-за овальности происходят периодические колебания мгновенной глубины резания, что вызывает периодические изменения величины контактной температуры шлифования в результате чего могут возникать тепловые дефекты поверхностного слоя – такие как фазовые и структурные превращения, которые резко снижают работоспособность поверхностного слоя.

Наиболее рациональный выход из положения это автоматическое поддержание контактной температуры шлифования на безопасном уровне. Это может быть выполнено за счет компенсации колебаний глубины резания другими составляющими режимов обработки.

Целью настоящей работы является создание имитационной математической модели процесса автоматического управления контактной температурой шлифования наплавленных поверхностей.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать объект управления,
- выбрать управляемую величину,
- выбрать законы управления,
- разработать алгоритм и блок схему процесса управления.

Эта задача может быть выполнена с помощью аналитического анализа процесса теплообразования при шлифовании, рассматривая процесс резания абразивным зерном с его противоречивыми закономерностями [4].

Действительно, при колебании глубины резания, контактная температура шлифования может быть представлена в виде [5]:

$$\theta(x') = \frac{1}{2\pi\lambda} \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} dx'' \int_{-x'}^{+x'} d\varphi \left(\frac{e^{\sqrt{D(G_0 \pm f(x''))} - x}}{R} \exp\left(-\frac{v_0(R+x)}{2a}\right) \right) \quad (1)$$

где $\theta(x')$ – мгновенной значение контактной температуры; t_3 – установленное значение глубины шлифования; x' – текущая координата точки теплового поля; x – граничная величина теплового поля; v_0 – скорость детали относительно заторможенного шлифовального круга, м/с; λ – коэффициент теплопроводности,

Дж/м·с·град; a – коэффициент температуропроводности, м²/с; R – радиус шлифовального круга, м.

Для овальности:

$$f(x') = t_m = t_3 \sin 2\pi n \tau, \quad (2)$$

где n – число оборотов детали в единицу времени; τ – текущее время.

Величина контактной температуры шлифования может быть определена по выражению, которое неоднократно проверено и которое дает удовлетворительную точность при расчетах температуры шлифования:

$$T = \frac{1,12 \cdot \eta \cdot q \cdot \sqrt{\tau}}{F \cdot \varepsilon_{мет}} \left[e^{\frac{-y^2}{4 \cdot \alpha \cdot \tau}} + y \cdot \Phi \left[\frac{y}{2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot \tau}} \right] \right] \quad (3)$$

Выражение (3) может быть преобразовано к следующему виду, если рассматривать температуру только на поверхности при $y=0$:

$$T = \frac{1,12 \cdot \eta \cdot P_z \cdot v_{кр} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t_m}{v_d}}}{\sqrt{D \cdot t_m} \cdot S \cdot \varepsilon_{мет}}, \quad (4)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания; $v_{кр}$ – скорость вращения круга; D – диаметр шлифовального круга; S – ширина шлифования; $\varepsilon_{мет}$ – коэффициент тепловой активности металла, Дж/м²·°С·с^{0,5}.

Поскольку t_m определяется по выражению (2), то ясно, что при вращении детали будут иметь место периодические колебания, температуры шлифования. Кроме того, из полученного выражения, очевидно, что компенсировать эти колебания возможно только за счет изменения в противофазе скорости круга. Таким образом, имеем:

$$v_{кр} = \frac{T \cdot \sqrt{D \cdot t_m} \cdot S \cdot \varepsilon_{мет}}{1,12 \cdot \eta \cdot P_z \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t_m}{v_d}}} \quad (5)$$

Алгоритм и блок – схема расчетов создана на базе алгоритма и блок-схемы работы [4] по определению контактной температуры шлифования.

Прирост глубины резания, прирост температуры шлифования и закон изменения управляющей величины $v_{кр}$ показан на рис. 2.

Следует отметить, что при автоматическом управлении температурой шлифования, при выборе скорости круга в качестве управляемой величины, в начальный период съема припуска наблюдается увеличение шероховатости шлифуемой поверхности из-за уменьшения скорости вращения круга. Однако, после удаления примерно половины припуска скорость вращения круга возвращается к исходной величине, вследствие исправления формы шлифуемой детали. В результате этого шероховатость поверхности достигает своего заданного значения.

Выводы.

1. Разработанная имитационная модель автоматического управления процессом шлифования доказывает принципиальную возможность реализации этого процесса для стабилизации качественных характеристик поверхностного слоя шлифуемой детали.

2. Разработанный алгоритм управления может быть реализован на практике при использовании современных технических средств.

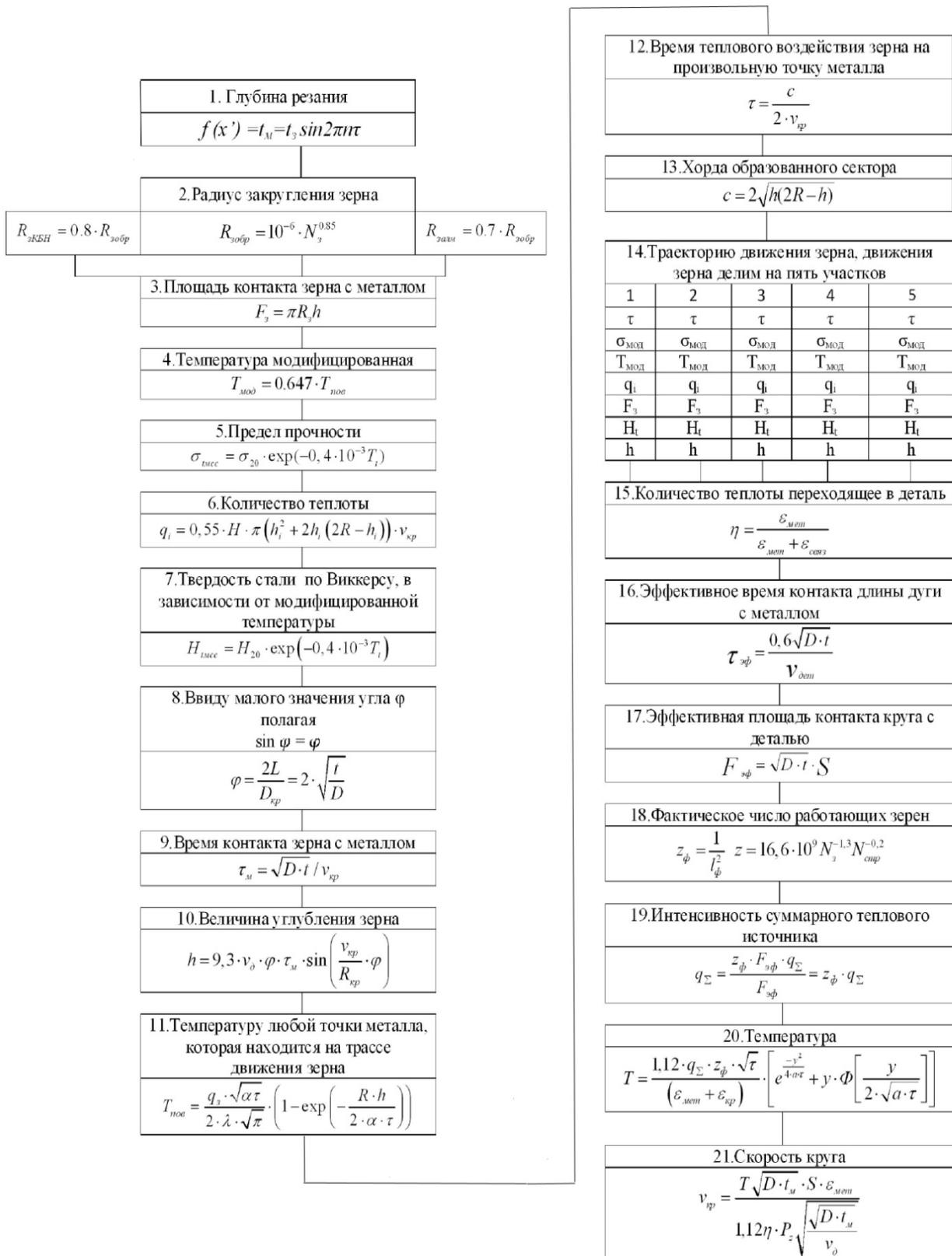


Рис. 1 – Расчетная модель автоматического управления

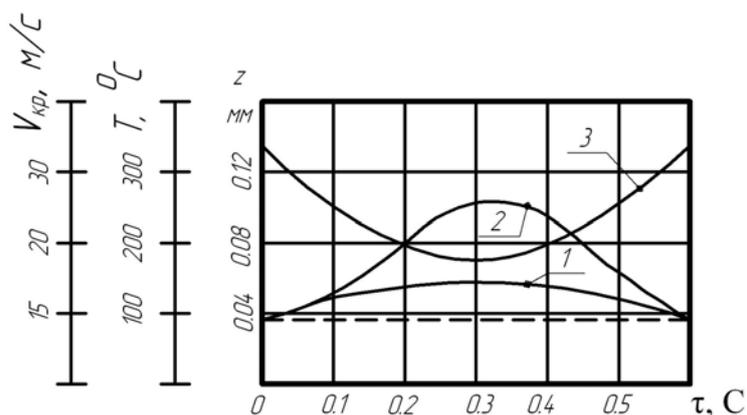


Рис. 2 – Прирост глубины резания (1), прирост температуры шлифования (2) и закон изменения управляющей величины $v_{кр}$ (3)

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М: Машиностроение, 1984. – 340 с. 2. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов / С.Г. Редько. – Саратов: Сарат. ун-т, 1986. – 231 с. 3. Чумаченко Т. В. Фактическое расстояние между режущими зернами в эльборовом круге / Т. В. Чумаченко, В.Г. Лебедев. – Проблемы техніки. – № 2. – 2009 с. 3. Чирков Т. В. Математическое моделирование режимов резания при обработке материалов абразивными инструментами / Т.В. Чирков // Технология машиностроения, 2004. – № 6. 4. The definition of amount of heat released during metal cutting by abrasive grain and the contact temperature of the surface being grinded / V. G. Lebedev, N. N. Klimenko, I. V. Uryadnikova, T. V. Chumachenko, A. V. Ovcharenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Харьков, 2016. 5. Лебедев В. Г. Технологические основы управления качеством поверхностного слоя при шлифовании: дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / В.Г. Лебедев. – Одесса, 1991.

2. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ

УДК 621.923

МЕТОД ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ УПРОЧНЕННЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, проф., **Сидашенко А.И.**, канд. техн. наук, проф.,
Сатановский Е.А., канд. техн. наук, **Мальцев Т.В.**, аспирант
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко, Харьков, Украина)

Представлен способ оценки и контроля степени неоднородности напряженно-деформированного состояния маслосъемных поршневых колец тепловозного дизель-генератора Д100 по коэрцитивной силе и изменению линейного размера замка до- и после упрочнения ионно-плазменным покрытием.

Ключевые слова: поршневое кольцо, коэрцитивная сила, размер замка, ионно-плазменное покрытие.

Представлено спосіб оцінки і контролю ступеня неоднорідності напружено-деформованого стану маслос'ємних поршневих кілець тепловозного дизель-генератора Д100 за коерцитивною силою і зміною лінійного розміру замку до- і після зміцнення іонно-плазмовим покриттям.

Ключові слова: поршневі кільця, коерцитивної сила, розмір замку, іонно-плазмове покриття.

The way of evaluation and monitoring of the inhomogeneity degree of the stress-strain state of oil scraper piston rings of diesel generator D100 by the coercive force measuring and change the lock line size before and after hardening by the ion-plasma coating is shown.

Key words: piston ring, the coercive force, the size of the lock, ion-plasma coating.

Постановка проблемы. Во время эксплуатации большинство деталей оборудования, узлов и агрегатов подвержены интенсивному механическому изнашиванию, что существенно снижает их долговечность. Ярким тому примером являются маслосъемные поршневые кольца тепловозных дизельных двигателей модели Д100, которые по серийной технологии изготавливают из серого чугуна без дальнейшего нанесения износостойких покрытий.

Одним из наиболее перспективных способов повышения стойкости к износу таких изделий является нанесение высокоэффективных ионно-плазменных покрытий. Однако, в силу возможного возникновения и развития остаточных напряжений в кольце во время нанесения покрытия, возникает необходимость в проверке состояния изделия и разработке специального метода оценки и контроля. Степень неоднородности напряженно-деформированного состояния кольца оценивали сопоставительно до- и после осаждения пленки.

Анализ публикаций. Среди большого количества методов неразрушающего контроля, для оценки уровня напряжений широкое применение получил

магнитный способ по коэрцитивной силе [1–3], который отличается высокой структурно-чувствительной характеристикой. При этом, в поршневых кольцах следует оценивать как изменения уровня коэрцитивной силы в различных зонах, так и линейные размеры его замка, изменяющиеся после осаждения покрытия, для оценки степени напряжений таких изделий.

Целью исследований является разработка неразрушающего метода оценки и контроля уровня неоднородности остаточных напряжений по коэрцитивной силе в упрочненных маслосъемных поршневых кольцах дизельного двигателя Д100 с учетом изменения размера замка до- и после напыления.

Материалы исследований. В качестве примера, была выполнена оценка уровня напряженности партии маслосъемных поршневых колец после нанесения многослойного ионно-плазменного покрытия общей толщиной 1,7 мкм. Измерения величины коэрцитивной силы производили коэрцитиметром модели КРМ-Ц-2М с использованием специального высокочувствительного преобразователя.

Методика исследований. Измерения величины замка и уровня остаточных напряжений проводили на протяжении 1,5 месяцев с периодичностью 7-9 дней. Зоны измерений различных партий чугуновых поршневых колец (серий чугун) представлены на рис.1 (зоны: I, II и III).

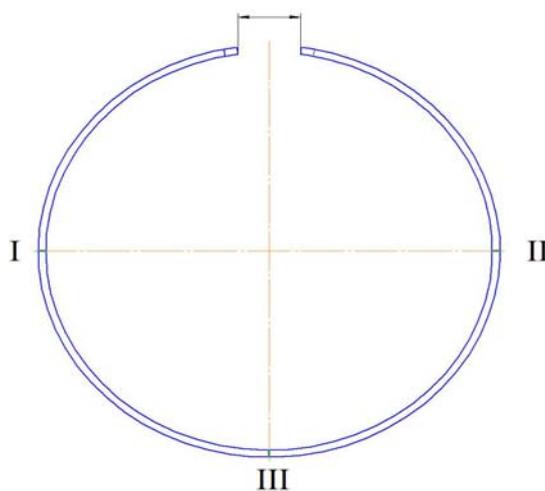


Рис. 1 – Зоны измерений коэрцитивной силы и линейного размера замка поршневого кольца

Результаты исследований. Анализом было установлено, что после нанесения покрытия может варьироваться размер замка и формироваться остаточные напряжения в измеряемых зонах (рис. 1). В табл. 1 приведены величины замков до нанесения упрочняющего покрытия, а также первый и последний измерения после напыления за весь период наблюдений. В табл. 2 отображены показания коэрцитивной силы первого и последнего измерений в трех зонах после напыления.

До нанесения покрытий, коэрцитивная сила была сопоставима с уровнем коэрцитивной силы после напыления (последнее измерение), но отличалась уровнем показаний различных поршневых колец.

Результаты измерений (табл.1) показали, что после напыления величина замка в кольце № 1 уменьшилась на 3,2%, а в № 3 увеличилась на 17,24%. Последнее измерения зазора замка, по окончании проведения эксперимента, в кольце № 3 показало, что оно уменьшилось лишь на 3,45%, что соответствует требованиям как по чертежу, так и степени релаксации напряжений. В кольце № 2 размер замка остался неизменным за весь период наблюдений.

Таблица 1

Линейные размеры замков до и после нанесения покрытия

Условные номера поршневых колец	До нанесения покрытия, мм	После нанесения покрытия, мм (1-е измерение)	После нанесения покрытия, мм (последнее измерение)
1	31	30	30
2	27	27	27
3	24	29	28

Таблица 2

Величины коэрцитивной силы в трех зонах измерений после напыления

Условные номера поршневых колец	После нанесения покрытия, А/см (1-е измерение)				После нанесения покрытия, А/см (последнее измерение)			
	I	II	III	Среднее значение	I	II	III	Среднее значение
1	11,9	11,8	12,2	11,97	11,5	11,4	11,8	11,57
2	16,9	16,9	19,3	17,7	16,4	16,3	19,0	17,23
3	14,8	14,0	14,2	14,3	14,0	13,9	13,5	13,8

Результаты измерений (табл. 2) показали, что в результате естественного старения (вылеживания) уровень остаточных напряжений снизился, в среднем, на 3,34%, 2,65% и 3,5% для колец № 1, № 2 и № 3 соответственно, что свидетельствует об эффективности предлагаемой технологии релаксации напряжений таких изделий после их упрочнения.

Выводы. Поршневые кольца 1 – 3 отличаются периодом производства (материалом, его структурой). Для восстановления размера замка и снижение уровня напряжений рекомендуется проводить естественное старение (вылеживание) изделий в течение 1,0 - 1,5 месяцев. При этом, измерения размера замков и величины коэрцитивной силы следует проводить с периодичностью 7-9 дней. Однако в случае повышения напряженно-деформированного состояния (более 5 %) по размеру замка и/или величины коэрцитивной силы (табл. 1, кольцо № 3) после напыления, рекомендуется проводить дополнительную термообработку такого изделия в виде низкотемпературного отпуска для дальнейшего его использования в эксплуатации.

Предложенный комплексный метод оценки качества упрочненных поршневых колец позволяет надежно контролировать состояние после упрочнения и осуществлять рекомендации по повышению их качества для эффективной эксплуатации. (Разработанный способ защищен патентом Украины № 110145).

Список литературы: 1. Патент № 30541 Україна, МПК (2006) G01N 27/82. Спосіб контролю властивостей виробів з залізовуглецевих сплавів неруйнівним магнітним методом [Текст] / М.Г. Поздняков. – № 200713586; заявл. 05.12.2007; опубл. 25.02.2008, Бюл. – 6 с.: іл. 2. Патент № 71815 Україна, МПК (2012.01) G01D 21/00 G01N 3/317 (2006.01). Спосіб оцінки якості та властивостей виробів [Текст] / Т.С. Скобло, С.О. Бурцев; заявник і патентоутримувач ХНТУСГ ім. П. Василенка. – № 201200948; заявл. 30.01.2012; опубл. 25.07.2012, Бюл. 14. – 6 с.: іл. 3. Оценка состояния наплавленного металла барабана котла высокого давления по коэрцитивной силе металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-naplavlenno-go-metalla-barabana-kotla-vysokogo-davleniya-po-koertsitivnoy-sile-metalla>

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОК ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, проф., **Ридный Р.В.**, канд. техн. наук
Коломиец В.В., докт. техн. наук, проф.

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко, Харьков, Украина)*

Приведены результаты исследований и сравнительной оценки полученного упрочнения наплавов среднеуглеродистых сталей, выполненных различными способами и их комбинациями: деформационным упрочнением специальным точением, легированием добавками в стандартный флюс зольных отходов тепловых электростанций, алмазным выглаживанием. Наилучший результат получен при комбинированном способе упрочнения.

Ключевые слова: *наплавка, деформационное упрочнение, легирование, алмазное выглаживание, изнашивание.*

Наведено результати досліджень і порівняльної оцінки отриманого зміцнення наплавень середньовуглецевих сталей, виконаних різними способами та їх комбінаціями: деформаційним зміцненням спеціальним точінням, легуванням добавками в стандартний флюс зольних відходів теплових електростанцій, алмазним вигладжуванням. Найкращий результат отримано при комбінованому способі зміцнення.

Ключові слова: *наплавлення, деформаційне зміцнення, легування, алмазне вигладжування, зношування.*

It is given the results of researches and comparative evaluation of the obtained hardening of overlaying medium carbon steels made in different methods and their combinations: work hardening special turning, alloying additives in the standard flux of ash waste of the thermal power plants, diamond smoothing. The best result was obtained for the combined method of hardening.

Key words: *welding, work hardening, alloying, diamond smoothing, wear.*

Известно, что при экономической целесообразности восстановления деталей машин [1] его недостатком является более низкая работоспособность в сравнении с новыми. Это касается, прежде всего, деталей с подвижными соединениями, потеря работоспособности которых вызвана износом сопряженных трущихся поверхностей. В связи с этим поиск эффективных недорогих и малоэнергозатратных методов упрочнения восстановленных поверхностей деталей машин является актуальной задачей.

В Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства имени Петра Василенка проводились исследования по оценке износостойкости наплавов нанесенных на изношенные поверхности деталей из среднеуглеродистых сталей, которые в практике ремонта используются чаще всего наплавочной проволокой Нп-30ХГСА, наносимой под слоем флюса АН-348А. Изучалось влияние следующих способов: деформационное упрочнение при точении резцами из ПСТМ (типа киборит) со специальной геометрией; микролегирование наплавов добавлением в стандартный флюс зольных отходов тепловых электростанций без последующего механического упрочнения; микролегирование наплавов через добавку во флюс с последующим деформационным упрочнением при точении и алмазное выглаживание.

Фрагменты результатов этих исследований были опубликованы в работах [2, 3, 4], однако после завершения цикла исследований представляет интерес обобщенный анализ полученных результатов, что и явилось **целью** настоящей работы.

Эффективность различных вариантов исследуемых наплавов оценивалась величиной износа образцов, материал которых был аналогичен материалу вала коробки передач трактора Т-150. Величину износа оценивали по потере массы образцов в процессе испытаний с помощью аналитических весов АДВ-200, погрешность которых не превышала $\pm 0,2$ мг. Нарботку оценивали величиной пути трения (м). Взвешивание производили - через каждые 2 минуты работы, что соответствовало 200 м пути трения. Количество измерений составляло – 110, при общей наработке 22000 м. Характеристика среды и режимов испытаний были следующими. Смазочный материал - масло трансмиссионное. Абразивный материал - механическая смесь кварцевого песка БЧС ГОСТ 26227-81 следующего состава: 70 % размером 5мкм и 30 % - 10 мкм с концентрацией в масле 0,8%. Режимы испытаний: нагрузка – 150 Н, скорость относительного скольжения 1,67 м/с, способ смазывания - 1 капля в 20 с.

Для оценки полученных результатов, согласно рекомендациям [5], определяли также относительную износостойкость образцов по выражению $U = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_0}$,

где $\Delta P_2, \Delta P_0$ – изменение массы эталона и образца (мг) в процессе испытаний.

По результатам испытаний получены зависимости величин износа от пройденного пути трения в периоды приработки и установившегося износа, которые приведены на рис.1 и в табл. 1.

Износ в период приработки, характеризующийся максимальной величиной интенсивности, является важным показателем износостойкости. Исследуемые случаи показали большую неравномерность износа в период до 1200 м, что можно объяснить явлением схватывания и переноса материала образца на колдочку и обратно в начало приработки.

Наименьшую интенсивность в начальный период и быструю прирабатываемость показали образцы №4 с наплавкой, нанесенной под слоем флюса с добавкой зольных отходов и последующим деформационным упрочнением специальным точением и алмазным выглаживанием. Их средний износ составил 11,53 мг. Примерно одинаковые показатели были у образцов №2 и №3, хотя не-

сколько лучше они были у наплавов, нанесенных под стандартным флюсом и упроченных деформационным точением (износ 17,75 мг) по сравнению с образцами с наплавкой, нанесенной под флюсом с добавкой зольных отходов, но без деформационного упрочнения (износ 20,45 мг).

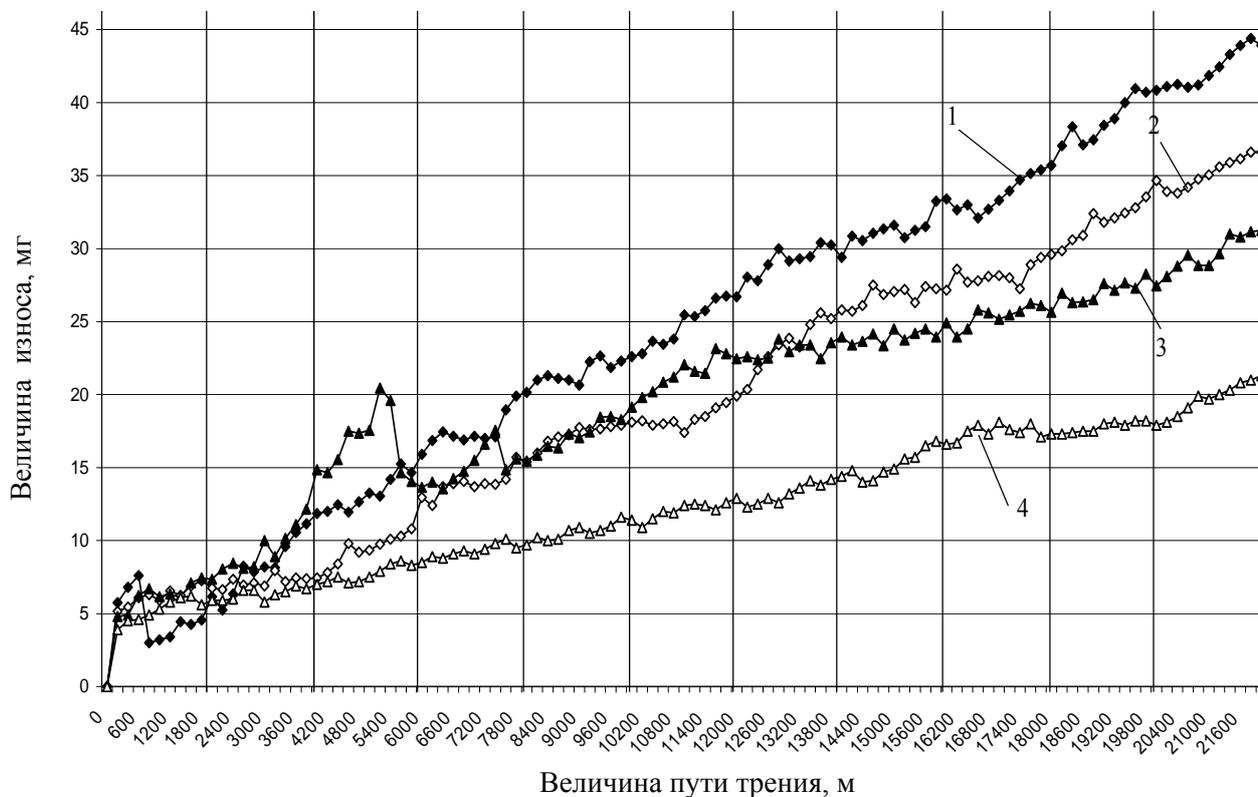


Рис. 1 – К оценке износостойкости образцов наплавов, нанесенных:
 1 – со стандартным флюсом АН-348А без добавок и упрочняющей обработки;
 2 – с использованием стандартного флюса без добавок, с упрочняющим деформационным точением;
 3 – с добавкой 5...7% зольных отходов во флюс, без упрочняющей механической обработки;
 4 – с добавкой 5...7% зольных отходов во флюс и с дополнительным упрочнением деформационным точением и алмазным выглаживанием

Таблица 1
 Результаты испытания образцов на износ

Испытываемый материал – № образцов	Износ в период приработки		Начало периода установившегося износа, тыс. м	Износ в установившемся периоде	
	среднее значение, мг	разброс значений, %		среднее значение, мг	разброс значений, %
1	22,25	12,41	12,0	43,90	7,47
2	17,75	17,12	2,8	36,60	8,15
3	16,45	10,92	9,0	31,25	7,84
4	10,50	8,27	2,2	21,30	5,91

Оценка относительной износостойкости образцов (рис. 2) показала, что наибольшей относительной износостойкостью обладает рекомендуемая наплавка с 5...7 % добавкой зольных отходов во флюс и упрочнённая деформационным точением с последующим алмазным выглаживанием. При этом её значения в период установившегося процесса выше практически в 2 раза в сравнении с покрытием, нанесенным с использованием стандартного флюса АН-348А без добавок и упрочняющих обработок.

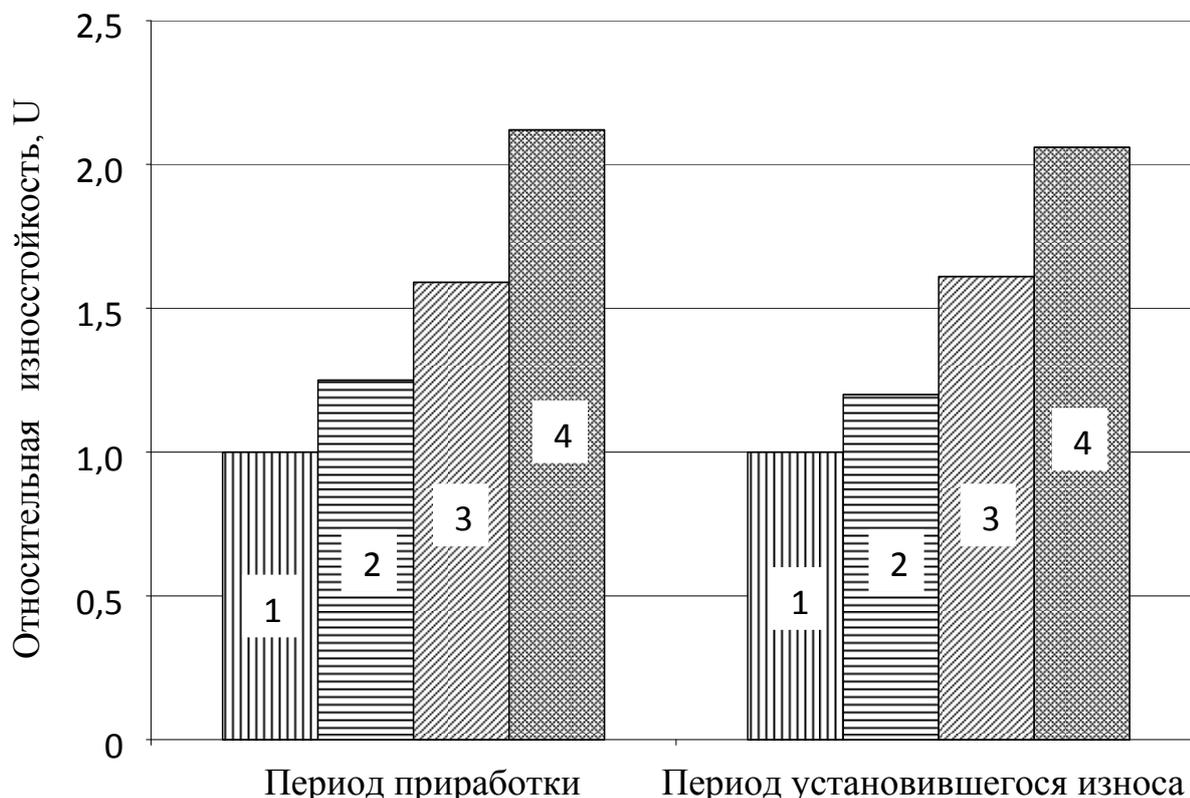


Рис. 2 – Относительная износостойкость образцов наплавки, выполненных: 1 – под стандартным флюсом АН-348А без добавок и упрочняющей обработки; 2 – под стандартным флюсом без добавок, с упрочняющим деформационным точением; 3 – с добавкой зольных отходов во флюс, без упрочняющей механической обработки; 4 – с добавкой зольных отходов во флюс и с дополнительным упрочнением деформационным точением с последующим алмазным выглаживанием

Выводы. Результаты исследований и их анализ позволил установить следующее.

1. Влияние на повышение износостойкости одного только легирования более существенно в сравнении с одним деформационным упрочняющим точением. Получено превышение относительной износостойкости первого способа над другим в период приработки на 25%, в период установившегося износа – на 17%.

2. Наилучшую прирабатываемость и наименьший износ имеют наплавки с комплексным упрочнением, которые получены добавлением 5...7% зольных отходов во флюс и с дополнительным упрочнением деформационным точением специальными резцами с последующим алмазным выглаживанием. Период приработки в этом случае в сравнении с существующей технологией сокраща-

ется в 4...6 раз. Таким наплавкам характерен и наименьший износ в период установившегося процесса в сравнении с существующей технологией нанесения наплавов. Износ наплавов в этот период снижается в 2,0...2,1 раза.

3. Алмазное выглаживание, хотя и дает определенный упрочняющий эффект, следует рассматривать как финишную операцию после деформационного упрочнения точением, после которого имеет место большая шероховатость поверхности. Положительное влияние алмазного выглаживания можно объяснить значительным сокращением периода приработки и уменьшением величины износа в этот период.

Список литературы: 1. Конкин Ю.А. Экономика ремонта сельскохозяйственной техники / Ю.А. Конкин – М.: Агропромиздат, 1990. – 366 с. 2. Упрочнение покрытий специальным точением / Т.С. Скобло, В.В. Коломиец, В.Ф. Ридный, Р.В. Ридный // Вісник СевНТУ, Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – Вип.110. – С. 208–211. 3. Скобло Т.С. Упрочнение восстановительных покрытий деталей микролегированием с использованием отходов ТЭС / Т.С. Скобло, В.М. Власовец, Р.В. Ридный // Физические и компьютерные технологии: труды 11-й международной научно-технической конференции. – Харьков, 2005. – С. 176–180. 4. Обоснование финишной операции при обработке поверхностей деталей восстановленных наплавкой / Т.С. Скобло, В.Ф. Ридный, Р.В. Ридный, И.М. Лукьянов // Вісник ХНТУСГ, серія: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 118. – С. 17–20. 5. Хрущев М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев – М.: Машиностроение, 1985. – 251 с.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В РАМНЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Лобанов В.К., докт. техн. наук, проф., **Пашкова Г.И.**, канд. техн. наук
(ГП «Завод имени В.А. Малышева», Харьков, Украина)

Приведены результаты исследований методом тензометрии уровня напряжений в конструктивных элементах грузоподъемной мачты в виде пространственной сварной рамной конструкции при ее нагружении в процессе испытаний.

Ключевые слова: сварная пространственная конструкция, тензорезисторы, напряжения, информационно-измерительный комплекс.

Наведено результати досліджень методом електротензометрії рівня напружень в конструктивних елементах вантажопідійомної щогли у вигляді просторової зварної рамної конструкції при її навантаженні в процесі випробувань.

Ключові слова: зварна просторова конструкція, тензорезистори, напруження, інформаційно-вимірвальний комплекс.

The results of research by the method of tenzometry for level of tensions in the structural elements of vantage mast as the spatial welded frame construction at its loading in the process of tests are reduced.

Keywords: welding space construction, resistive strain sensor, stress, data-measuring system

Одной из основных задач современного производства является снижение материалоемкости с одновременным повышением надежности и прочностного ресурса машин и сооружений. Все более широкое использование в промыш-

ленности находят сварные соединения в рамных и балочных металлоконструкциях. Изучение прочности таких объектов, предназначенных для жестких условий эксплуатации, представляет значительный практический интерес.

Главным этапом решения проблем обеспечения прочности и ресурса при проектировании машин и конструкций является исследование деформаций, напряжений, перемещений и усилий, вызываемых силовыми и тепловыми нагрузками [1, 2].

Высокая эффективность современных вычислительных методов расчета позволяет решать многие задачи проектирования и оптимизации. Однако действительные нагрузки, обусловленные спецификой эксплуатации, особенно при аварийных и нештатных режимах, могут существенно отличаться от априорно принятых при проектировании. Кроме того, в ряде случаев при сложной конфигурации деталей и узлов и различных сочетаниях воздействующих нагрузок численные методы могут оказаться неэффективными для расчета напряженно-деформированного состояния из-за существенных и часто необоснованных упрощений. Поэтому для определения реальной нагруженности деталей машин и конструкций, как на стадии проектирования, так и в процессе доводки опытных образцов, и особенно в реальных условиях эксплуатации, большое значение приобретают методы экспериментальной механики и, в частности, тензометрия. Натурная тензометрия позволяет определить действительные значения напряжений и деформаций в машинах и конструкциях, а также их изменения в рабочих условиях, т. е. получить надежные данные для оценки прочностных и ресурсных характеристик.

Целью настоящей работы являлось исследование уровня напряжений в конструктивных элементах пространственной сварной рамы грузоподъемной мачты при её нагружении в процессе испытаний.

Изучение значений напряжений при нагружении мачты проводили в различных точках, расположенных на нескольких уровнях по высоте конструкции. Для исследований выбирали наиболее нагруженные точки в соответствии с прочностным расчетом.

Расчетная модель построена на основе пакета программ моделирования и конечно-элементного анализа MSC/NASTRAN for Windows [3]. Точки измерения находились на вертикальных стойках мачты, представляющих собой трубы с размерами $100 \times 100 \times 6$ мм из стали 10ХСНД. Общая высота мачты составляла 35,8 м.

Определение деформаций для расчета напряжений при нагружении мачты производили методом электротензометрии [4]. Использование прямоугольных розеток тензорезисторов типа КФ5П1-10-100-Б12 с коэффициентом тензочувствительности равным 2,02 позволило получить достаточно полную картину деформированного состояния в заданных точках. Термокомпенсационные тензорезисторы наклеивали на пластины из стали 10ХСНД, которые крепили на стойки мачты непосредственно вблизи рабочих розеток. От воздействия окружающей среды тензорезисторы защищали с помощью резиновых пластин. Для определения деформаций были использованы полумостовые измерительные

схемы подключения тензорезисторов. Расчет максимального и минимального напряжений производился по известным формулам [4].

Сбор и обработка информации, получаемой от тензорезисторов, осуществлялись в настоящем исследовании с использованием специально сформированного информационно-измерительного комплекса, структура которого приведена на рис. 1.

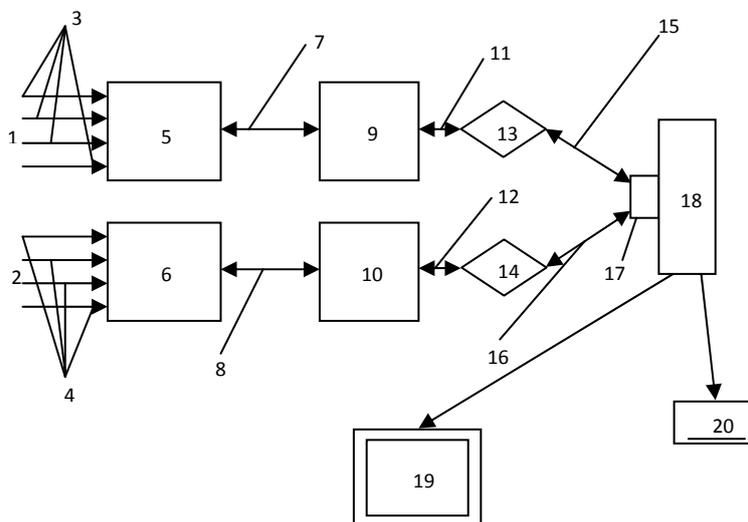


Рис. 1 – Схема информационно-измерительного комплекса:

1, 2 – тензорезисторы; 3, 4 – монтажные кабели; 5, 6 – блоки дистанционного релейного переключения (БДРП) системы СИИТ-3; 7, 8 – кабельные системы; 9, 10 – блоки измерений (БИ) системы СИИТ-3; 11, 12, 15, 16 – соединительные кабели; 13, 14 – адаптерные устройства АУС-СП; 17 – мультипортовая плата МОХА СР-114 IS; 18 – системный блок персонального компьютера (ПК); 19 – монитор ПК; 20 – принтер

Разработано программное обеспечение, позволяющее проводить компьютерную обработку поступающей информации и рассчитывать значения напряжений в элементах конструкции мачты непосредственно в ходе испытаний, а, следовательно, оперативно оценивать текущее состояние натурального объекта и влиять на ход эксперимента.

Оценка работоспособности информационно-измерительного комплекса и программного обеспечения была произведена путем предварительной тарировки измерительной схемы в лабораторных условиях с использованием натуральных образцов, выполненных из полый трубчатой заготовки, применяемой при изготовлении мачты. Разница между расчетными и экспериментальными значениями, полученными при создании в образцах напряжений величиной до 350 МПа, составляла не более 4 %.

Фиксация и анализ показаний тензорезисторов при нагружении грузоподъемной мачты в процессе испытаний, расчет значений напряжений в заданных точках и построение графиков распределения напряжений по высоте мачты осуществлялись непосредственно в условиях испытательного полигона.

Блоки БДРП фиксировали в заданном положении и размещали в специальных контейнерах, закрепленных на мачте.

Блоки БИ и адаптерные устройства располагали вблизи мачты и с помощью кабелей связи соединяли с соответствующими БДРП и персональным компьютером, находящимся в безопасной зоне.

Измерение показаний тензорезисторов в ненагруженном положении мачты производили трижды, и определяли работоспособность каждого датчика. Замер показаний тензорезисторов при нагружении мачты и расчет величины напряжений в заданных точках осуществлялись в соответствии с величиной усилия нагружения. Погрешность определения значений напряжений составляла 5-10 МПа. Информация о результатах тензометрирования представлялась в виде таблиц и графиков распределения напряжений в соответствующих точках по высоте мачты.

В процессе испытаний грузоподъемная мачта подвергалась статическому нагружению усилием от 0,3 до 1,7 МН. Изучение распределения напряжений по высоте мачты показало, что наиболее нагруженными в большинстве случаев являются точки, расположенные на правой и левой передних ее стойках на высоте 17,8 м от уровня основания.

Полученные в процессе испытаний обобщенные результаты свидетельствуют о том, что конструкция работает в упругой области, так как графическая аппроксимация обобщенной зависимости значений максимальных напряжений от величины усилия нагружения мачты по характеру близка к линейной.

Максимальные напряжения, возникающие в элементах конструкции мачты, являются сжимающими во всех случаях. Минимальные напряжения, обусловленные одновременным влиянием деформации сжатия, изгиба и скручивания, зафиксированы как сжимающими, так и растягивающими.

Наибольшее значение максимального напряжения, полученное при нагружении мачты усилием 1,7 МН, составляет - 181,13 МПа. По абсолютной величине указанное значение в 1,9 раза ниже допускаемой величины напряжений равной 350 МПа. Показания тензорезисторов в ненагруженном состоянии и после снятия усилия нагружения близки между собой. Это подтверждает, что тензорезисторы сохранили работоспособность, а деформация мачты в процессе нагружения является упругой.

Проведенные исследования позволили достоверно оценить прочность натурального объекта и уточнить ресурс эксплуатации с учетом реальной нагруженности по данным тензометрии, показали, что конструкция мачты обеспечивает необходимый запас прочности для грузоподъемных устройств.

Список литературы: 1. Дайчик М.Л. Методы и средства натурной тензометрии / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. 2. Кудрявцев И.В. Усталость сварных конструкций / И.В. Кудрявцев, Н.Е. Наумченков. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с. 3. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д.Г. Шимкович. – М.: серия «Проектирование», 2001. 4. Шушкевич В. А. Основы электротензометрии / В.А. Шушкевич – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 352 с.

ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ У МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ

Дерев'янченко О.Г., докт. техн. наук, проф.
(Одеський національний економічний університет, Одеса, Україна)

Розглянуто підхід до автоматизованого визначення мікротвердості з використанням приладу мод. ПМТ-3, оснащеного системою технічного зору (СТЗ). Проведені випробування підтвердили можливість використання розробок в лабораторних умовах.

Ключові слова: мікротвердість, програмний комплекс, шліфи, гістограма

Рассмотрен подход к автоматизированному определению микротвердости с использованием прибора мод. ПМТ-3, оснащенного системой технического зрения (СТЗ). Проведенные испытания подтвердили возможность использования разработок в лабораторных условиях.

Ключевые слова: микротвердость, программный комплекс, шлифы, гистограмма

An approach to the automated determination of mikrohardness with use of the device (PMT-3), equipped with the system of technical sight (STS), is considered. The conducted tests confirmed possibility of systems using in laboratory terms.

Keywords: micro-hardness, software package, thin sections, histogram

В структурі досліджень властивостей матеріалів та станів поверхонь деталей у сучасному матеріалознавстві важливе місце посідає визначення мікротвердості. Відповідні методи, системи та прилади відображені у великій кількості наукових праць вітчизняних та закордонних авторів. Існує низка сучасних спеціалізованих автоматичних систем для визначення мікротвердості. Але у багатьох лабораторіях та підприємствах ще й досі використовують прилади типу ПМТ-3,

Автором запропоновано підхід до автоматизованого визначення мікротвердості (при дослідженнях у матеріалознавстві) з використанням модернізованого приладу мод. ПМТ-3. Ця модернізація виконана на кафедрі ТКММ ОНПУ сумісно з ст. лаборантом Волковим С.К. Сутність модернізації полягає у тому, що цей прилад обладнаний системою технічного зору (СТЗ).

Ця система: 1. Реєструє цифрові зображення відбитків алмазної пірамідки приладу на шліфі матеріалу, що досліджується;

2. Виконує обробку цих зображень, зокрема - фільтрацію цифрового зображення у форматі RGB, вилучення його інформативних зон (тобто зон, що містять відображення відбитків алмазної пірамідки приладу) та інше;

3. Виконує визначення розмірів діагоналей відбитків, які використовуються для визначення мікротвердості;

4. Виконує накопичення вимірювальної інформації у спеціалізованій базі даних (БД).

Для обробки зображень шліфів використано спеціальний програмний комплекс, розроблений к.т.н. Кринициним Д.О. Склад основних операцій по

визначенню мікротвердості у вибірковій (i – й) зоні шліфу матеріалу відображено на укрупнених блок – схема алгоритму, що приведені на рис. 1 та рис. 2.

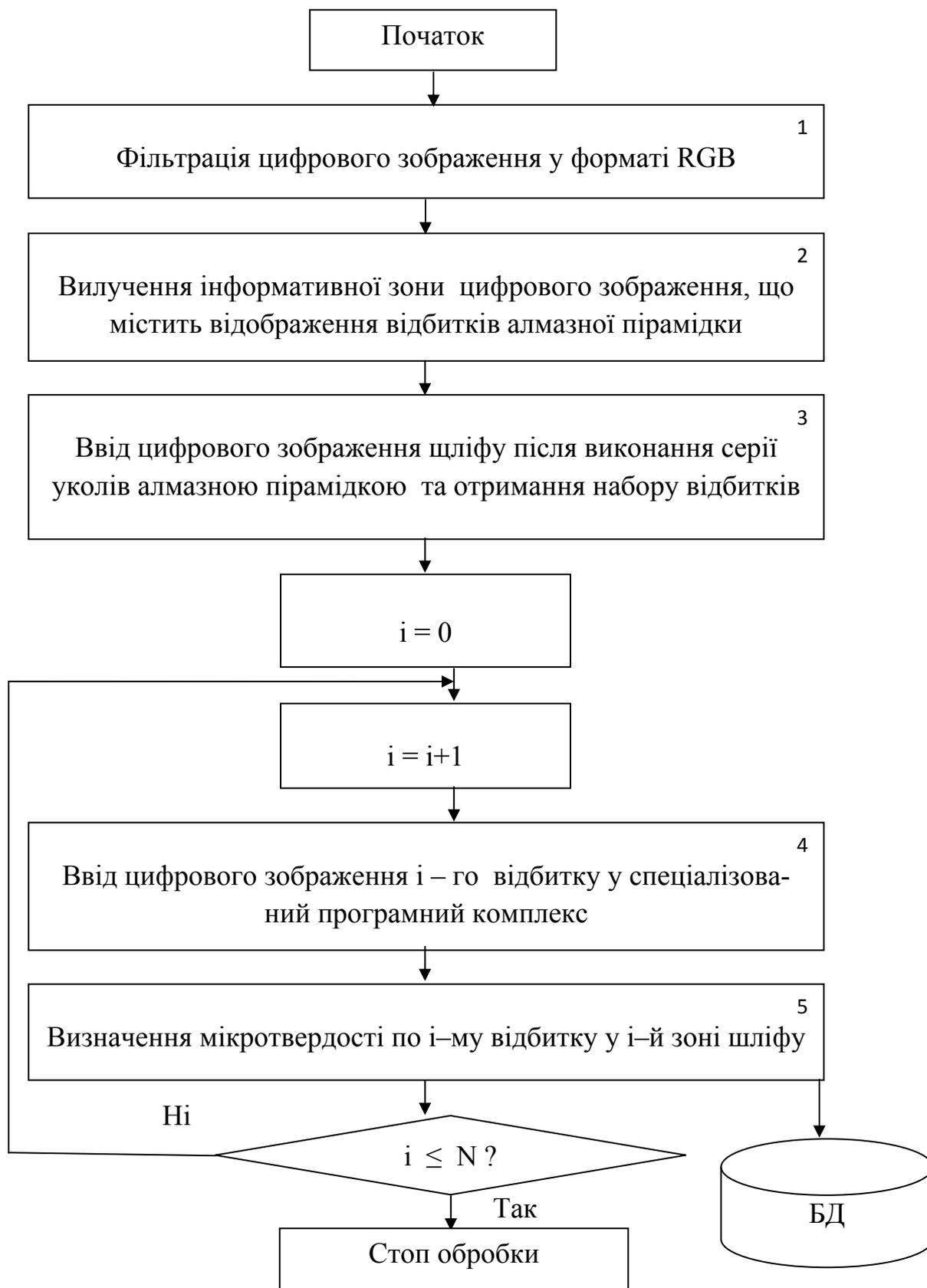


Рис. 1 – Укрупнена блок – схема алгоритму отримання набору значень мікротвердості у інформативній зоні шліфу

Склад основних операцій по визначенню мікротвердості у i – й зоні шліфу (блоки 4, 5 алгоритму, що приведені на рис. 1) відображено на рис. 2.



Рис. 2 – Фрагмент блок – схеми «внутрішньої зони» алгоритму, яка відображує склад основних операцій по визначенню значення мікротвердості у i – й зоні шліфу (відповідає блоку 6 алгоритму, що приведені на рис. 1.).

Загальний вигляд модернізованого приладу мод. ПМТ-3 приведені на рис. 3. Тут 1 – власно прилад, 2 - WEB – камера СТЗ, 3 – монітор СТЗ, 4 – зображення окремого відбитку алмазної пірамідки приладу (ПЕОМ знаходиться поза зоною зображення).

Загальний вигляд робочої панелі програмного комплексу обробки зображення відбитку (стадія виділення контуру зони відбитку алмазної пірамідки) приведені на рис. 4. Тут 1 – зображення зони відбитку після фільтрації, 2 - власно зона відбитку, 3 – зона відбитку після виконання операції виділення контуру, 4 – зона контуру відбитку серед множини зайвих контурів, 5 та 6 – параметри обробки, 7 – гістограма зображення, 8 – поле відображення параметрів контурів.

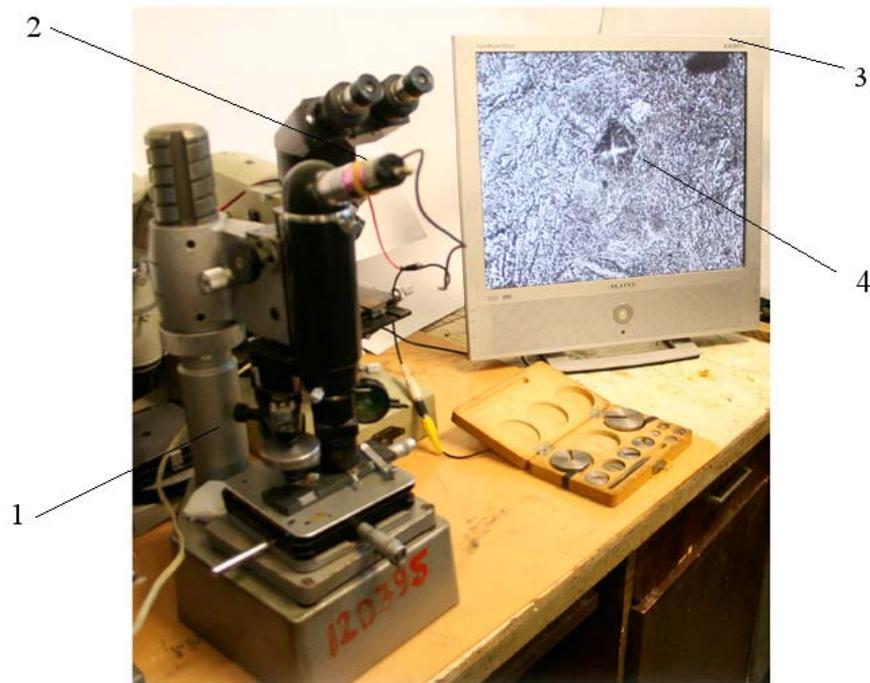


Рис. 3 – Загальний вигляд модернізованого приладу мод. ПМТ-3.

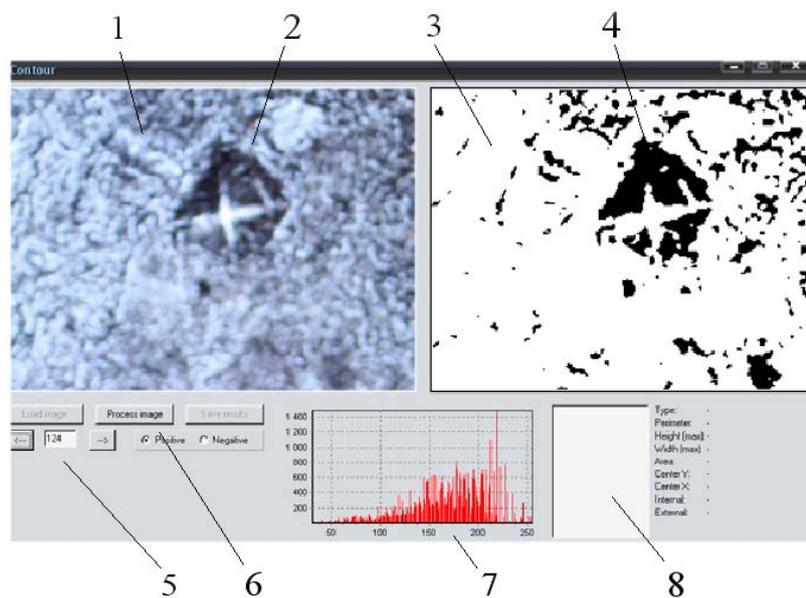


Рис. 4 – Загальний вигляд робочої панелі програмного комплексу обробки зображення відбитку (стадія виділення контуру зони відбитку алмазної пірамідки).

Загальний вигляд робочої панелі програмного комплексу обробки зображення відбитку (стадія виділення «напівконтуру» відбитку) приведений на рис. 5. Тут 1 – зона контуру відбитку, 2 – гістограма. 3 - виділений напівконтур відбитку, 4 - параметри напівконтуру відбитку.

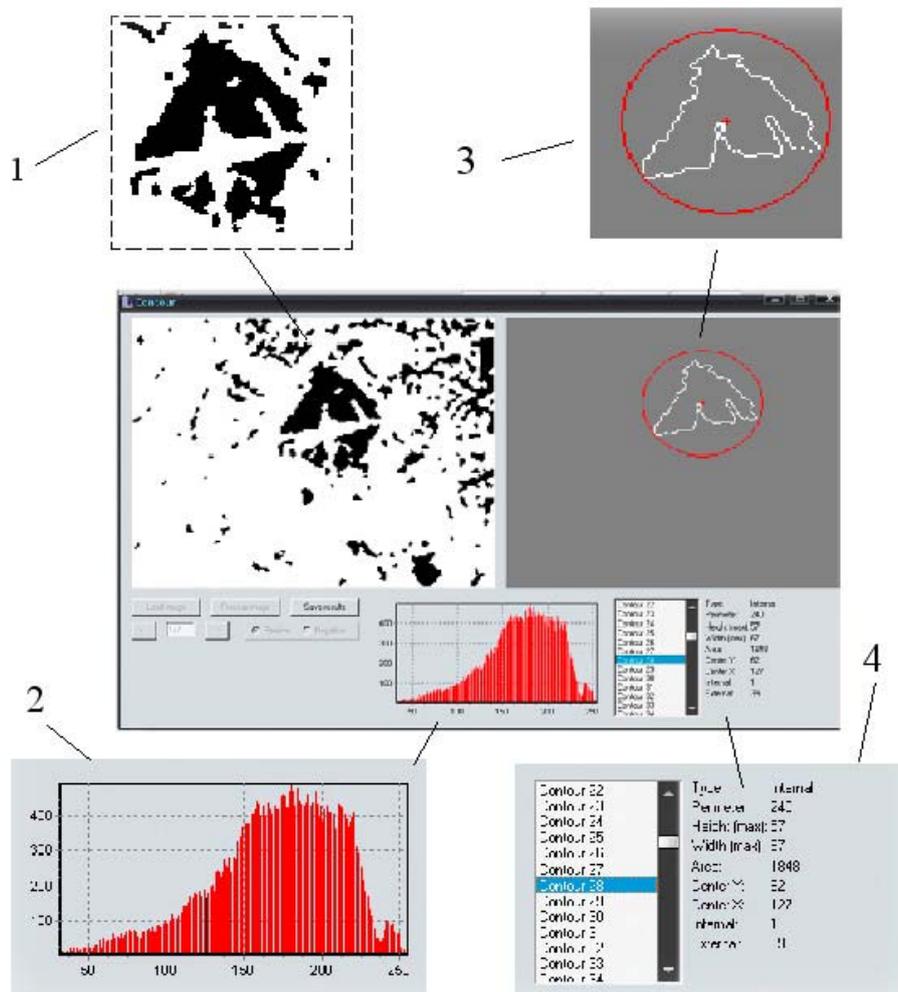


Рис. 5 – Загальний вигляд робочої панелі програмного комплексу обробки зображення відбитку (стадія виділення напівконтурів відбитку)

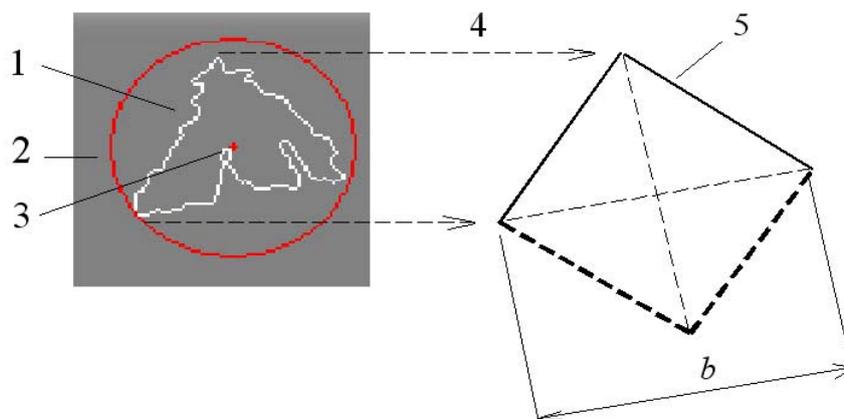


Рис. 6. Схема визначення розміру діагоналі відбитку по виділеному зображенню його напівконтурів.

Схема визначення розміру діагоналі відбитку по виділеному зображенню його напівконтурів приведена на рис. 6. Тут 1 – напівконтур відбитку, 2 – зовнішнє коло навкруг відбитку, 3 – центр «ваги» відбитку, 4 – умовне зображення процедури формування квадрату – моделі відбитку, 5 – квадрат (модель відбитку) з діагоналлю b . Відповідна залежність для розрахунку значення мікротвердості з використанням параметру b широко відома і тому не приводиться.

Проведені дослідження автоматизованої системи визначення мікротвердості та відповідного програмного комплексу на декількох шліфах показали їх працездатність.

У нинішній час проводяться подальші дослідження з використанням розширеного набору шліфів з різноманітних матеріалів.

* Автор зазначає, що не робив ретельного літературного пошуку у даній предметній області, і тому ні яким чином не претендує на новизну розробок. Вони використовуються в учбовому процесі.

УДК 631.331.85

ТЕОРЕТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ПОДРІБНЮВАЧА

Пилипець М.І., докт. техн. наук, проф., Паньків В.Р., аспірант
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

Наведено результати аналітичних і експериментальних досліджень комбінованого гвинтового транспортера-подрібнювача коренеплодів, який виконано у вигляді напрямного кожуха в якому розміщено шнековий конвеєр, між витками якого встановлено ножі-подрібнювачі.

Ключові слова: шнековий конвеєр, продуктивність, конструктивний геометричний коефіцієнт, коефіцієнт заповнення, рівняння регресії.

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований комбинированного винтового транспортера-измельчителя корнеплодов, который выполнен в виде направляющего кожуха, в котором расположен шнековый конвейер, между витками которого установлены ножи-измельчители.

Ключевые слова: шнековый конвейер, производительность, конструктивный геометрический коэффициент, коэффициент заполнения, уравнение регрессии.

The results of analytical and experimental investigations of combined screw root chopper conveyor, which made in the form of the guide casing in which located a screw conveyor, between the turns of which is installed knife-grinders.

Keywords: screw conveyor, performance, constructive geometry factor, fill factor, the regression equation.

В агропромисловому секторі гвинтові транспортери призначені для горизонтального, похилого та вертикального переміщення продуктів аграрного виробництва, наприклад, коренеплодів, зерна, кормових сумішей. Крім цього гвинтові транспортери в силу своїх конструктивних особливостей також

можуть одночасно виконувати і суміжні функції – змішування матеріалів, подрібнення або дроблення матеріалів, дозування тощо [1]. Як окремий технічний елемент транспортних механізмів вони широко використовують в конструкціях сільськогосподарських машин – зернозбиральних і бурякозбиральних комбайнах, машинах для внесення добрив, дробарках, протруювачах насіння тощо [2], а також в компоновальних схемах машин для перевантаження або переміщення матеріалів в зв'язку з їх простотою конструкції, технічного обслуговування і можливістю завантаження та повного, або часткового розвантаження матеріалу в будь-якому місці технологічної лінії [3].

Поява технологій виготовлення секційних гвинтових заготовок для робочих органів [4] дає можливість розробляти удосконалені конструкції гвинтових транспортерів, які забезпечують одночасне подрібнення та транспортування матеріалів. Обґрунтування раціональних параметрів робочих органів таких транспортних механізмів, є важливим науковим завданням.

Метою роботи є підвищення технологічних показників процесу одночасного подрібнення та транспортування коренеплодів шляхом розробки та обґрунтування параметрів робочих органів комбінованого гвинтового транспортера-подрібнювача (комбінованого ГТП).

Основними критеріями, які характеризують технологічно-економічну ефективність застосування будь-яких транспортних машин або механізмів, є продуктивність їх роботи, споживчі енергозатрати процесу транспортування матеріалів, ресурс роботи тощо.

Для проведення комплексу досліджень було використано удосконалений комбінований ГТП, рис. 1.

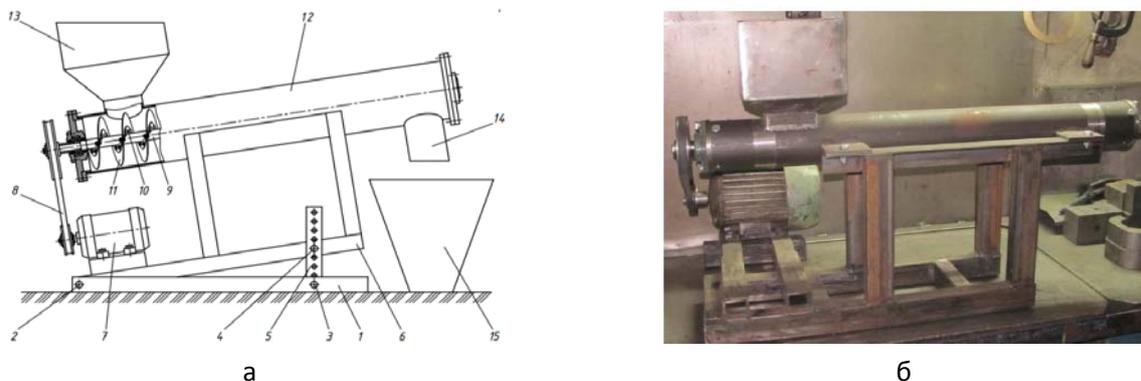


Рис. 1 – Схема експериментальної установки: а – конструктивна схема; б – загальний вигляд; 1, 6 – рама; 2-5 – механізм регулювання; 7 – двигун; 8 – клинопосова передача; 9 – робочий орган; 10 – ніж-подрібнювач; 11 – виток; 12 – напрямний кожух; 13 – бункер; 14 – вивантажувальний канал; 15 – ємність

Коренеплоди подаються в завантажувальний бункер 13 та переміщуються далі в напрямну трубу 12 до шнекового конвеєра, та пластинчатих ножів-подрібнювачів 10. Робочий орган 9 одночасно подрібнює коренеплоди і транспортує подрібнені частинки спіральними витками 11 в сторону вивантажувального каналу 14 і далі в ємність 15.

Обґрунтування раціональних параметрів комбінованого ГТП проведено на основі аналітичного-експериментального дослідження його продуктивності

роботи, яка в загальному контексті регламентується продуктивністю роботи шнекового конвеєра, яку позначимо через Q_k . При цьому критерієм технологічності робочого процесу одночасного подрібнення та транспортування коренеплодів шнековим конвеєром буде умова за якої пропускна здатність $Q_k(t)$ шнекового конвеєра повинна бути не меншою (більшою, або рівною) за подачу коренеплодів $W_k(t)$ за певний проміжок часу t :

$$dM_k / dt \geq dW_k / dt, \text{ або } Q_k \geq W_k, \quad (1)$$

де dM_k / dt – маса вивантажених подрібнених коренеплодів через вивантажувальний канал комбінованого ГТП за час t , кг; dW_k / dt – загальна маса (подача) завантажених коренеплодів через завантажувальний канал (бункер) комбінованого ГТП за час t , кг; Q_k – продуктивність роботи шнекового конвеєра комбінованого ГТП, кг/с; W_k – секундна подача коренеплодів, які завантажуються через бункер ГТП, кг/с.

Продуктивність шнекового конвеєра Q_k (кг/с) визначається за відомою формулою продуктивності машин неперервної дії

$$Q_k = F_v \rho_k \mu_n \psi_\alpha V_w, \quad (2)$$

де F_v – площа поперечного перерізу потоку вантажу, м²; μ_n – коефіцієнт подачі шнека (коефіцієнт продуктивності); ψ_α – коефіцієнт кута нахилу шнекового конвеєра до горизонту; V_w – середня швидкість переміщення (транспортування) вантажу в напрямку вихідної частини шнекового конвеєра, м/с, при цьому

$$V_w = V_{o.m} k_v; \quad k_v = k_\alpha k_y; \quad V_w = \frac{T_i \omega_k}{2\pi} k_v = \frac{(T_{i-1} + \Delta T) k_v}{2\pi} \frac{d\varphi_k}{dt}; \quad \mu_n = k_z = V_{zk} / V_z; \quad (3)$$

$$Q_k = \frac{\pi \rho_k \psi_\alpha k_v D_k^2 n_k (T_1 + n \Delta T) (1 - 0,5 k_d^{-2})}{120} \times \left\{ 1 + \frac{2(1 - k_d^{-1})}{\pi D_k [2T_1 + \Delta T(n-1)]} \left[2\Omega \delta_c z + \frac{\theta_1 (n_z n - 1) \delta_n k_d^2}{\cos \gamma_n} \times \left((a+b) \cos \gamma_n - \frac{b \delta_n \operatorname{tg} \alpha_n \cos \gamma_n}{2D_k (1 - k_d^{-1})} + \delta_n \right) \right] \right\}. \quad (4)$$

де ω_k – кутова швидкість шнекового конвеєра, рад/с; φ_k – кут повороту шнекового конвеєра, рад.; V_{zk} – заповнений об'єм простору шнекового конвеєра, м³; V_z – загальний об'єм простору комбінованого ГТП, м³; D_k – зовнішній діаметр шнекового конвеєра, м; n_k – частота обертання шнекового конвеєра, об/хв; c – зазор між зовнішніми торцем спірального витка та внутрішнім діаметром кожуха, м; T_1 – крок першого, спірального витка, м; n – кількість T_i -х кроків; $k_d = 6 \dots 8$ – коефіцієнт співвідношення; δ_c – товщина лопаті спірального витка, м; z – кількість заходів шнекового конвеєра, шт.; θ_1 – кількість ножів-подрібнювачів між суміжними витками, шт.; δ_n – товщина ножа, м; γ_n – кут

між висотою ножа та його ребром, град.; n_z – кількість витків кожного T_i -го кроку; a , b – розмірні параметри ножа, м; α_n – кут скосу бічної грані ножа, град.;

$$\Omega = \sqrt{T_1^2 + 0,25(D_k + d_m)^2} + \sqrt{(T_1 + \Delta T)^2 + 0,25(D_k + d_m)^2} + \dots + \sqrt{[T_i + \Delta T(n-1)]^2 + 0,25(D_k + d_m)^2}$$

Після обробки експериментального масиву даних одержано рівняння регресії у натуральних величинах, яке характеризує зміну продуктивності Q_{ke} (кг/с) комбінованого ГТП залежно від вхідних факторів у наступних межах їх варіювання: частоти обертання шнекового конвеєра $100 \leq n_k \leq 300$ об/хв; діаметра шнекового конвеєра $0,12 \leq D_k \leq 0,2$ м; кроку шнека $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$ м

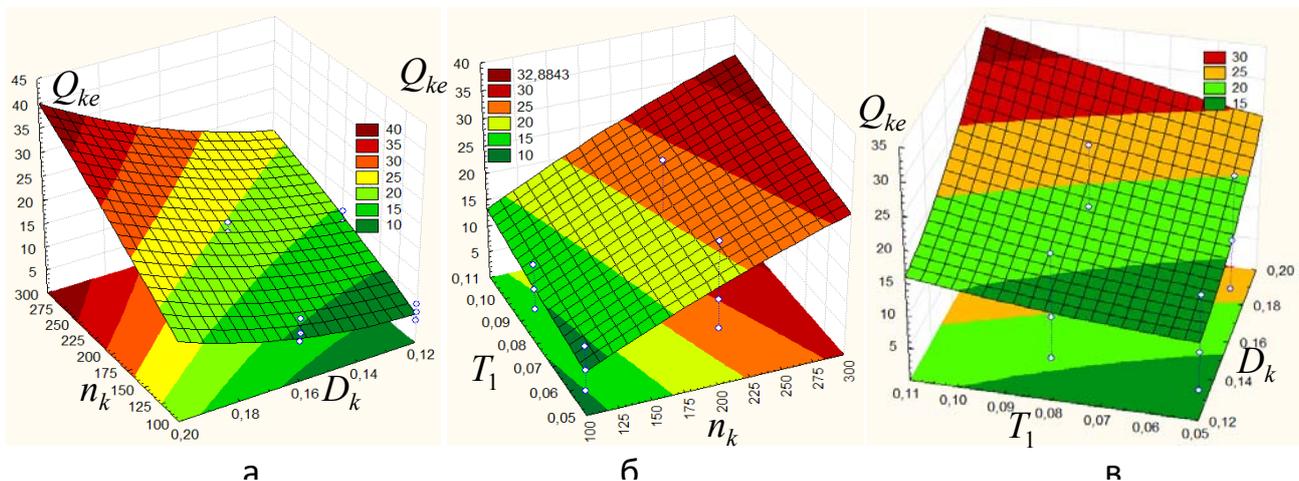


Рис. 2 – Поверхні відгуку зміни продуктивності Q_{ke} комбінованого ГТП як функціонал:

а – $Q_{ke} = f(n_k; D_k)$; б – $Q_{ke} = f(n_k; T_1)$; в – $Q_{ke} = f(D_k; T_1)$;

$$Q_{ke} = 36,88 + 0,3n_k - 480,53D_k - 278,2T_1 + 0,53n_kD_k + 0,24n_kT_1 + 970,04D_kT_1 + 1493,93D_k^2 + 1121,08T_1^2 \cdot \quad (5)$$

Аналіз побудованих поверхонь відгуку (рис. 2) показує, що зміна продуктивності Q_{ke} комбінованого ГТП залежно від вхідних факторів має прямопорційний характер і знаходиться в межах 5...40 кг/с.

Список літератури: 1. Барановський В.М. Методологічні та конструктивно-технологічні аспекти розробки адаптованих коренезбиральних машин / В.М. Барановський, М.І. Підгурський, М.Р. Паньків // Науковий журнал. Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2014. – Т. 2 (74). – С. 106–113. 2. Сільськогосподарські машини. / Д.Г. Войтюк, Л.В. Анискевич, В.М. Барановський [та ін.]. – К. : «Агроосвіта», 2014. – 679 с. 3. Гевко Ів.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11 / Ів.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 40 с. 4. Пулинець М.І. Проектування секційних гвинтових заготовок / М.І. Пулинець, В.В. Васильків. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2013. – 180 с.

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ НАСТИЛОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ

Крюк А. Г., канд. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Разработана комбинированная технология и проведены экспериментальные исследования при производстве гнутых профилей с поверхностью противоскольжения.

Ключевые слова: гнутые профили, поверхность противоскольжения, деформация, заготовка.

Розроблено комбіновану технологію і проведено експериментальні дослідження при виробництві гнутих профілів з поверхнею проти ковзання.

Ключові слова: гнуті профілі, поверхня проти ковзання, деформація, заготовка.

A combined technology and experimental studies in the production of cold-formed sections with anti-skid surface.

Keywords: roll-formed profiles, surface anti-skid, deformation, the workpiece.

В настоящее время в различных строительных конструкциях и промышленных сооружениях типа эстакад, переходных площадок, лестниц, переходов, покрытый полов производственных помещений и т. д. применяют настил из рифленых стальных листов или плоские плитовины с приваренными к ним ребрами противоскольжения. Такие рифленые листы обычно имеют толщину 4–5 мм, тогда как по условиям прочности вполне достаточна толщина 1,5–2,5 мм. Однако горячей прокаткой рифленые листы толщиной менее 3–4 мм технологически трудно изготовить. Таким образом, завышается масса и стоимость конструкций, выполненных с применением настилов из рифленых листов. Кроме того, узкие канавки на рифленых листах быстро засоряются, что резко уменьшает сопротивление трению и приводит к необходимости частой их очистки.

Применяемые иногда просечные облегченные настилы наряду с достоинствами обладают и существенными недостатками: повышенной трудоемкостью и низкой производительностью способа изготовления, ограниченными габаритами по длине (не более 3 м), что вызывает дополнительные трудности при монтаже и обуславливает необходимость применения сварочных операций. Кроме того, просечные настилы нельзя класть на перекрытия, находящиеся над другими рабочими площадками. Предъявляемым требованиям лучше всего удовлетворяют гнутые профили, несущая поверхность которых усилена поперечными периодически повторяющимися гофрами жесткости небольшой высоты, которые повышают несущую способность настила и в то же время обеспечивают нужную степень противоскольжения.

В данной работе разработаны принципиально новые конструкции панельных настилов, представляющие собой сортаментный ряд гнутых корытных и С-образных профилей толщиной 2,5 мм, у которых для обеспечения требуемой поверхности противоскольжения на стенках нанесены поперечные периодически повторяющиеся гофры трапецеидальной формы высотой до 7 мм с ша-

гом 60 мм (рис. 1). Из разработанных профилей можно изготавливать настилы для отдельных переходных площадок и набирать ряд профилей в производственные площадки большей площади.

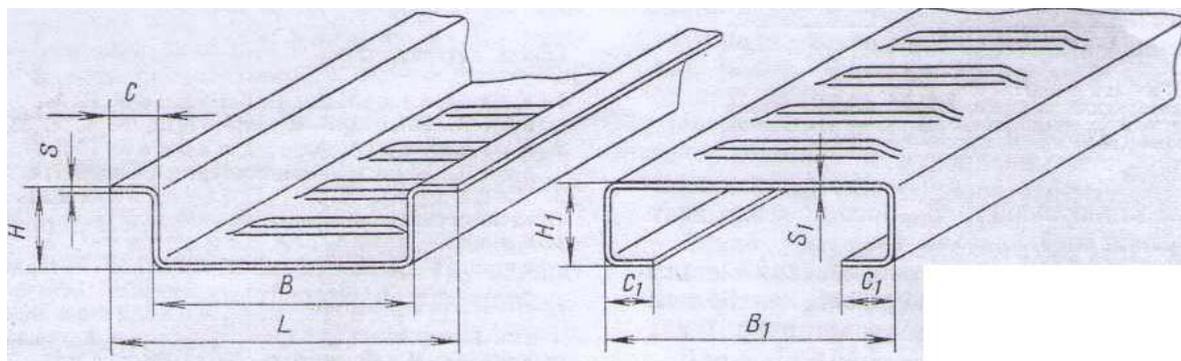


Рис. 1 – Гнутые профили настила с периодически повторяющимися гофрами противоскольжения

Выбором соответствующего профиля из разработанного сортамента можно обеспечить перекрытие пролетов длиной до 12 м. При толщине $S=S_x=2,5$ мм новые профили (рис. 1) имеют следующие основные размеры, мм:

H	B	L	C	H_1	B_1	C_1
120	417	460	30	120	600	40
120	500	600	50	120	800	40
200	500	600	50	160	600	40
120	700	800	50	160	800	40
200	700	800	50	200	800	40

Разработанная технология, предусматривающая совмещение в одной непрерывной технологической линии процесса обычного профилирования сортовых профилей с валковой формовкой на отдельных элементах этих профилей периодически повторяющихся гофров противоскольжения.

Необходимое профилегибочное оборудование для изготовления по новой технологии требуемого профиля из разработанного сортамента выбирается на основании величин суммарных давлений металла на валки и крутящих моментов на валках, определенных по известным зависимостям [1].

Для определения возможности формовки в клети профилегибочного стана выбранного типа периодически повторяющихся гофров противоскольжения при определении усилия формовки P можно воспользоваться приближенной формулой $P= kL/S\sigma_b$, где L – длина формуемого гофра, мм; S – толщина заготовки, мм; σ_b – временное сопротивление формуемого металла, Н/мм²; k – коэффициент, учитывающий различие протекания процессов штамповки ребер жесткости на прессах и рельефной валковой формовки гофров при профилировании (0,25–0,40). На основании проведенных расчетов для изготовления открытого равнополочного профиля настила размером 417x120x30x2,5 выбрали профилегибочный стан 1–5x30–730. Для изготовления этого профиля с поперечными гофрами использовали систему калибровки с переменными величинами радиусов закруглений и постоянными расстояниями между центрами дуг мест изгиба. Такая система калибровки обеспечивает свободный доступ метал-

ла к местам изгиба. Разработанный режим формовки профиля настила предусматривает получение его в 10 клетях профилегибочного стана, из которых: клетки 1 и 2 являются закрытыми формующими, 3–7 и 9–10 – открытыми формующими, а в клетях 8 формируются поперечные гофры.

Валковая формовка поперечных периодических гофров представляет собой сложный процесс формообразования, при котором вытяжка участков полосы осуществляется непосредственно в осевой плоскости валков; при этом в ряде случаев возможно возникновение волнистости на боковых прямолинейных участках профиля, для устранения которой применяются различные способы

В целях предотвращения волнистости на стенке корытного профиля формировать поперечные гофры предполагалось в клетях 8, так как полоса, выходящая из клетки 7, в основном уже отформована, а боковые стенки вследствие полученной при профилировании жесткости препятствуют возникновению волнистости. В клетях 9 и 10 осуществляется доформовка корытного профиля с одновременной правкой плоских участков его стенки.

При валковой формовке поперечных периодических гофров для обеспечения синхронизации вращения формующих валков на рабочих валках стана необходима установка пары специальных синхронизирующих шестерен. Конструкция валков стана 1–5х30–730 не позволяет разместить шестерню с внешней стороны клетки за стойкой. Ширина формуемой в первых клетях стана полосы такова, что эти шестерни нельзя разместить и между стойками, и только при подгибке элементов профиля примерно на 80° (т.е. в клетях 8) на валу освобождается место для их установки. В соответствии с разработанной технологией гофры на профиле формируются выступами нижнего валка в полостях верхнего. С учетом передаточного отношения шестерённой клетки стана $i=2,5$ основной диаметр верхнего валка принят равным 372,5 мм, нижнего 149 мм.

Для размещения целого числа периодов гофров на бочках валков шаг между гофрами был откорректирован и составил $T=58,48$ мм; при этом основной диаметр валка с выпуклыми формующими элементами может быть рассчитан

$$D_n = n_1 T / \pi = 8 \cdot 58,48 / 3,14 = 149 \text{ мм,}$$

где $n_1=8$ – число выпуклых формующих элементов на окружности бочки валка.

Основной диаметр валка с вогнутыми формующими элементами определяется

$$D_6 = D_n i = 149 \cdot 2,5 = 372,5 \text{ мм.}$$

Рассчитываются диаметры делительных окружностей сопряжения формующих элементов обоих валков с учетом толщины профилируемой полосы:

$$D_n = D_n + S = 149 \cdot 2,5 = 151,5 \text{ мм;}$$

$$D'_b = D_b + S = 372,5 + 2,5 = 375 \text{ мм.}$$

При длине шага T между гофрами и числе выпуклых формующих элементов на валке n_1 число соответствующих им впадин на другом валке составляет $n_2 = i n_1 = 2,5 \cdot 8 = 20$. Шаговые углы выпуклых φ_1 и вогнутых φ_2 профильных элементов при этом равны 45° и 18° ; межцентровое расстояние между валками составляет 263,25 мм.

Разработанная калибровка валков для формовки на стенке корытного профиля клетки 8 профилегибочного стана поперечных периодически повторяющихся гофров противоскольжения приведена на рис. 2.

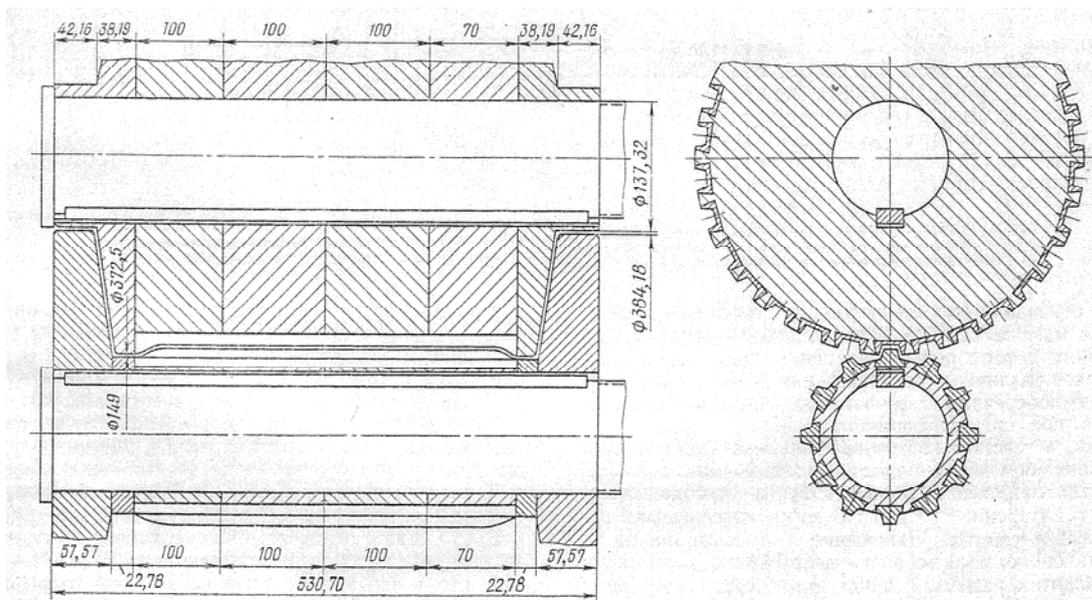


Рис. 2 – Конструкция валков клетки 8 профилегибочного стана, где формируются поперечные гофры противоскольжения

Конструкция валков для формовки поперечных гофров получается сложной и довольно трудоемкой в изготовлении, поскольку требуются дополнительные операции по выполнению пазов по окружности бочек рабочих шайб, а также самих формирующих элементов и их взаимная подгонка.

В целях унификации комплектов формирующих валков и обеспечения возможности изготовления на одних валках профилей нескольких типоразмеров была запроектирована новая конструкция валков, отличительной особенностью которой является разборное исполнение не только шайб, но и формирующих элементов – вставок. Заменяя на валках ряд формирующих шайб со вставками цилиндрическими дистанционными, можно настроить комплект рабочих валков на формовку поперечных гофров любой требуемой ширины.

Размещать такую унифицированную рабочую клетку целесообразно перед клетями профилегибочного стана, так чтобы возможные при валковой формовке поперечных гофров дефекты плоских боковых участков полосы можно было устранить в процессе дальнейшей подгибки этих участков при формовке сортовых профилей различной конфигурации. Анализ размеров готового корытного профиля настила позволил установить, что предельные отклонения их от номинала не превышают допускаемых по ГОСТу на гнутые стальные профили.

Для проверки ряда характеристик получаемых профилей провели экспериментальные исследования деформированного состояния и механических свойств готовых профилей. Анализ искажений координатной сетки, нанесенной на поверхности заготовки перед профилированием, позволил установить, что по внутренней поверхности в местах изгиба у оснований гофров наблюдалась деформация растяжения, максимальная величина которой составляла 16,5% (рис. 3,а). На плоских участках между гофрами она уменьшалась до нуля, а на плоских боковых участках гофров постепенно переходила в деформацию сжатия, достигая 4% в зоне сжатых волокон на участке мест изгиба у вершины гофров. На плоском участке вершины гофра наблюдалась незначительная деформация растяжения.

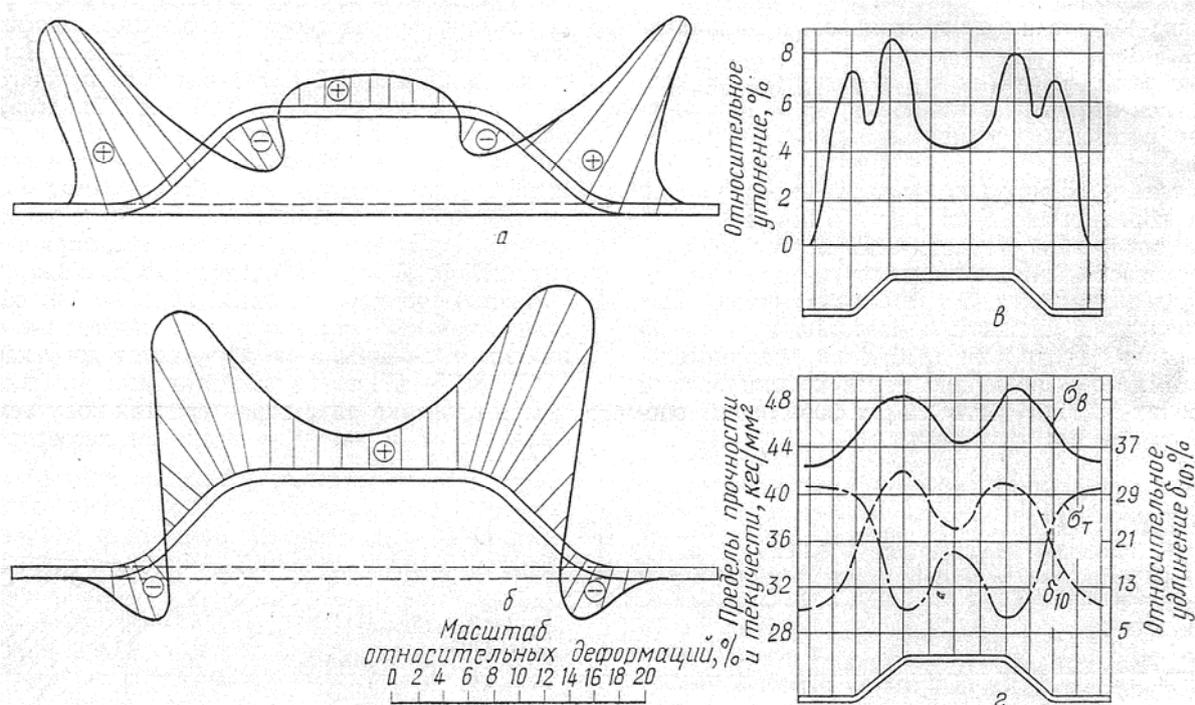


Рис. 3 – Результаты исследования деформированного состояния и механических свойств гнутых профилей проката: *a* и *б* – распределение поверхностных деформаций внутреннего и наружного слоев поперечного сечения гофров; *в* – изменение относительного утонения по поперечному сечению гофров; *г* – изменение механических свойств по сечению гофра

По внешней поверхности (рис. 3,б) деформация растяжения возрастала от 2 % на плоском участке и достигала максимуме (14%) у вершины гофра в месте изгиба основания гофра и плоского бокового участка, а затем она резко понижалась и в месте изгиба у основания гофра переходила в деформацию сжатия с максимумом 5 %. На плоских участках между гофрами деформация была равна нулю. Такое различие в распределении деформации по сечению поперечных гофров можно объяснить влиянием изгиба при их формовке.

Так, вследствие изгиба профильными формующими элементами участка полосы в зоне формовки гофров участки сопряжения вершин гофра и его боковых стенок с внутренней стороны сечения подвергаются деформации сжатия. Наложение этой деформации на противоположную по знаку деформацию растяжения приводит к резкому уменьшению общей деформации растяжения, которая на этих участках переходит в деформацию сжатия. Наружные же слои поперечного сечения гофра в местах сопряжения его вершины с боковыми стенками под влиянием того же изгиба испытывают дополнительную деформацию растяжения, при наложении которой на деформацию растяжения от вытяжки общая деформация увеличивается.

На вырезанных из профиля темплетях измерили толщину формуемой полосы в поперечном направлении (рис. 3,в). Наибольшее относительное утонение наблюдается вблизи радиусов перехода вершины гофра на плоские боковые участки и достигает 8,5 %. Другой максимум распределения утонения по

исследуемому сечению приходится на участок сопряжения основания гофра с плоским боковым участком. Величина утонения здесь составляет 7%. Утонение на вершине гофра и на плоских боковых участках достигает 4–5%. На плоских участках между гофрами утонение отсутствует.

Анализ распределения утонения по поперечному сечению трапецеидальных гофров показал, что наиболее интенсивно процесс формообразования гофров происходит на криволинейных участках основания вершины гофра, а также на плоском наклонном участке между гофрами. Отсутствие утонения на прямолинейных участках, смежных с гофрами, свидетельствует о том, что гофри получены только в результате местной вытяжки на участках гофров.

Проведенные испытания на разрыв, а также определение твердости темплетов, вырезанных из гофров готовых профилей, показали, что по механическим свойствам готовые профили значительно отличаются от исходной заготовки. На участках отформованных гофров наблюдается явно выраженное упрочнение металла. В местах изгиба как у оснований, так и на вершине гофра временное сопротивление повышается на 13% по сравнению с его уровнем для исходной заготовки (рис. 3,2). На плоских боковых участках и на вершине гофра прочность снижается, а на плоских участках между гофрами остается такой же, как и до профилирования. Предел текучести изменяется по поперечному сечению по такому же закону.

Относительное удлинение δ_{10} уменьшается до 8% вблизи криволинейных участков вершины гофра и повышается до 19% на плоских участках вершины. На промежутках между гофрами δ_{10} повышается до первоначальных значений.

Твердость изменяется аналогично изменению механических свойств: максимальное упрочнение металла наблюдается в местах изгиба на вершине и у основания гофров. На плоских участках между гофрами твердость остается такой же, как у исходной заготовки. Твердость измеряли на внутренней и на внешней поверхности гофров. Было установлено, что в зоне сжатых волокон твердость несколько выше, чем в зоне растянутых.

Таким образом, исследования по определению механических свойств готовых профилей позволили установить увеличение временного сопротивления предела текучести и твердости готовых профилей по сравнению с их уровнем для исходной заготовки; иными словами, в результате упрочнения, полученного при формовке, общая несущая способность всего профиля увеличивается.

В результате приведенных исследований по созданию панельных настилов для типовых лестниц и площадок промышленных зданий и сооружений разработаны сортамент специальных гнутых профилей и комбинированная технология их изготовления, по которой в одной непрерывной технологической линии совмещается процесс профилирования сортовых профилей с периодической валковой формовкой поперечных гофров противоскольжения. Приведенные экспериментальные исследования подтвердили приемлемость разработанной технологии.

Список литературы: 1. *Тришевский И. С.* Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката / *И. С. Тришевский, Л. Н. Котелевский* // Гнутые профили проката: сб. трудов. – Харьков: УкрНИИМет, 1971. – № 15. – С. 226-231.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ ВИРІШЕННЯ ВІНАХІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧ (АВВЗ) ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НОВОЇ ТЕХНІКИ

Третяк В.В., канд.техн. наук, доц., **Федорова А.С.**, аспірантка

*(Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна)*

Савченко М.Ф., канд. техн. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто можливості використання алгоритмів рішення винахідницьких задач в учбовому процесі для проектування конструкцій і технологій об'єктів нової техніки. Запропонована схема, алгоритми і приклади використання баз знань для використання алгоритмів рішення винахідницьких задач для розробки нових конструкцій і способів імпульсних технологій.

Ключові слова: бази знань, алгоритми використання винахідницьких задач, імпульсні технології

Рассмотрены возможности использования алгоритмов решения изобретательских задач в учебном процессе для проектирования конструкций и технологий объектов новой техники. Предложена схема, алгоритмы и примеры использования баз знаний для использования алгоритмов решения изобретательских задач для разработки новых конструкций и способов импульсных технологий.

Ключевые слова: базы знаний, алгоритмы использования изобретательских задач, импульсные технологии

Possibilities are considered of the use of algorithms of decision of creative tasks in the educational process for planning of constructions and technologies of objects of a new technique. A chart is offered, algorithms and examples of the use of knowledge bases for the use of algorithms of decision of creative tasks for development of new constructions and methods of impulsive technologies.

Keywords: knowledge bases, algorithms of the use of creative tasks, impulsive technologies

Однією з найактуальніших задач підготовки магістрів в ВНЗ є задача розвитку творчого підходу для вирішення життєво важливих задач, пов'язаних з вивченням конструкцій і можливостей технологій використання різних приладів і пристосувань. Також цю задачу доводиться вирішувати студентам і при вирішенні задач розробки нових конструкцій і технологій. Вирішення такого роду задач пов'язано з можливостями використання принципів системного підходу, а також теоретичного підходу до вирішення задач винахідництва різного рівня.

Варто відзначити, що в технічних та економічних ВНЗ накопичений певний досвід роботи з такого роду задачами при підготовці студентів, проте їх рішення пов'язано із специфікою програми окремого ВНЗ.

Так, наприклад в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» накопичений певний досвід в проектуванні авіаційно-космічної техніки. Цей потенціал ВНЗ можна було б з цікавістю і користю для підготовки магістрів в і інших ВНЗ [1-3]. Для цього, наприклад, на авіадвигунобудівному факультеті ХАІ було розроблено програмні засоби, що використовують алгоритми для вирішення винахідницьких задач (АВВЗ) для створення конструкцій і технологій авіаційної техніки.

Алгоритм вирішення винахідницьких задач (АВВЗ), запропонований в свій час Р. С. Альтшуллером, – комплексна покрокова послідовність дій, призначена для виявлення і вирішення протиріч, тобто для аналізу і рішення задач винахідництва (близько 85 кроків). АВВЗ заснований на законах розвитку технічних систем (ЗРТС) і є унікальним інструментом для: пошуку нетривіальних ідей, виявлення і рішення творчих проблем, вибору перспективних напрямів розвитку систем, зокрема, техніки, технології і зниження витрат на їх розробку і виробництво, розвитку творчого мислення, формування творчої особи і колективів (рис.1).

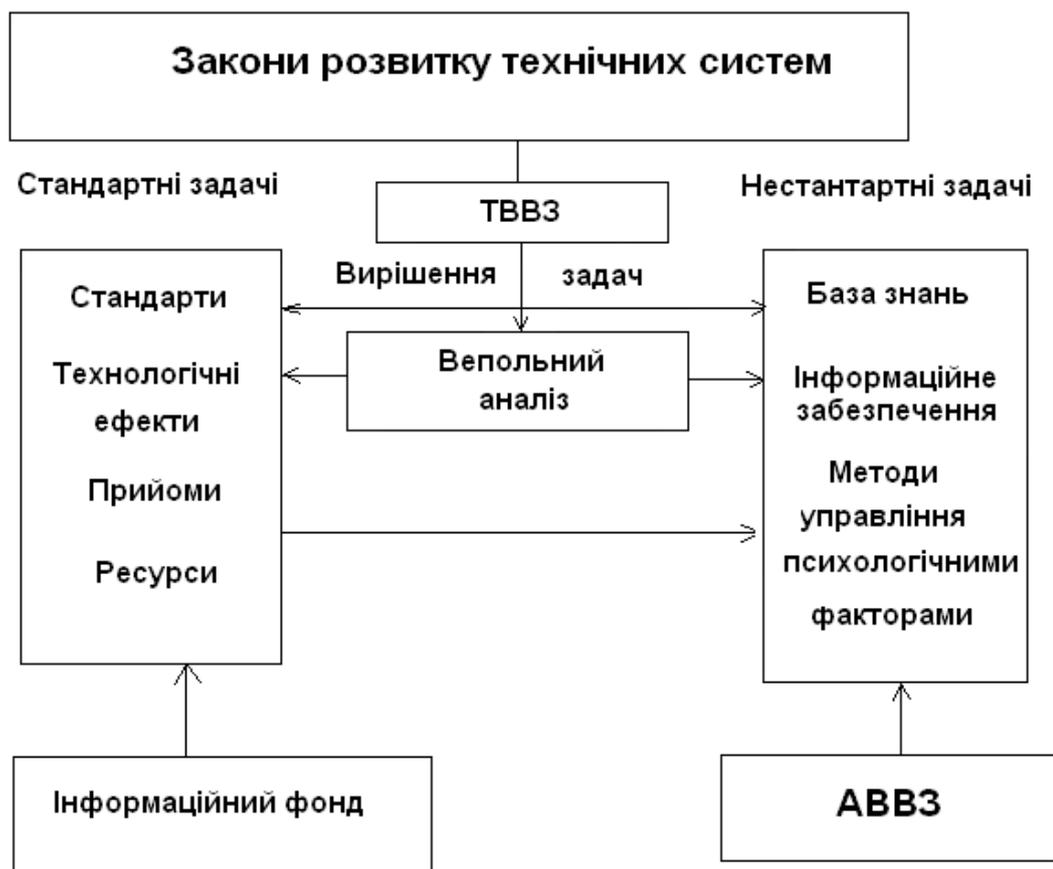


Рис. 1 – Структурна схема роботи з АВВЗ

В даний час в учбовому процесі в ХАІ застосовуються системи автоматизованого проектування, використовуючи бази знань. Ці системи орієнтовані на

висококваліфікованих фахівців в своїх областях і призначені для вирішення різноманітних інженерних задач.

Безперечно, сьогодні виникає необхідність розробки нових концепцій для вирішення задач винахідництва високого рівня. Свого часу були запропоновані достатньо ефективні алгоритми і програмні засоби, здатні вирішувати такі задачі, проте їх використання обмежувалося можливостями математичних моделей і програмною реалізацією лише ідей.

Сьогодні для вирішення задач винахідництва можна використовувати різноманітну кількість математичних моделей, кожна з яких може бути пристосована до певного рівня проектування. При цьому необхідно звертати увагу на переваги, недоліки і обмеження на застосування певної математичної моделі. В сучасних системах САПР інформаційна модель об'єкту дослідження полягає в їх окремих елементах, які у свою чергу теж є об'єктами.

Інформаційні моделі проєктованих і виготовлюємих об'єктів можна формувати і редагувати за допомогою вбудованих редакторів інформаційних моделей сучасних САПР систем. Так, в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» в учбовому процесі для роботи із задачами винахідництва пристосований програмний комплекс СПРУТ ТП. Також для розробки нових пристроїв в ХАІ розроблений новий учбовий програмний комплекс для розробки імпульсних технологій. Для його успішної роботи сформована база знань.

Вона підкріплена відповідною базою типових прийомів (типовими суперечностями), що використовується для вирішення задач винахідництва і може бути ефективно використовуватися в навчальному процесі.

Для кожної з суперечностей представлений короткий алгоритм і приклади його реалізації. Перелік типових прийомів є свого роду скороченим довідником винахідника. Запропонована методика була використана для отримання декількох патентів України в області імпульсної обробки, а також вогнегасників, спеціально прилаштованих для використання в умовах відсутності достатніх запасів води і гасіння пожежі у локально обмежених зонах. Використання запропонованих алгоритмів може бути також ефективним і при розробці нових технологій в САПР ТП.

Список літератури: 1. *Альциуллер Г.С.* Алгоритм изобретения [Текст] / *Г.С. Альциуллер.* – М: Московский рабочий, 1973. – 296 2. *Гранин В.Ю.* Проектирование технологических процессов в интеллектуальной системе СПРУТ ТП [Текст]: учеб пособие / *В.Ю. Гранин, В.В. Третьяк, С.В. Худяков.* – Х. : Нац. аэрокосм ун-т «ХАИ», 2002. – 67 с. 3. *Третьяк В.В.* Возможности и реализация объектного подхода для решения изобретательских задач с использованием типовых приемов устранения технических противоречий [Текст] / *В.В. Третьяк* // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2013. – №. 2(61). – С. 113–118.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВЫХ ПЕРЕДАЧ РУДОРАЗМОЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ

Нечаев В.П., канд. техн. наук, доц., **Рязанцев А.А.**, ст. преподаватель
(Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина)

Произведен критический анализ подходов для решения проблемы повышения надежности и долговечности открытых крупномодульных передач шаровых рудоразмельных мельниц.

Ключевые слова: открытые зубчатые передачи, поверхностная плазменная закалка, упрочненный слой, эксплуатационные показатели

Проведено критичний аналіз підходів для вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності відкритих крупномодульних зубчатих передач шарових рудорозмельних млинів.

Ключові слова: відкриті зубчасті передачі, поверхневе плазмове зміцнення, зміцнений шар, експлуатаційні показники.

Critical analysis of approaches for solution of the problem of increase of reliability and service life of open coarse-grained gears of spherical ore-pulverizing mills was carried out.

Keywords: open gear drive, surface plasma quenching, the strengthened layer, operating indices

Зубчатые передачи силовых приводов рудоразмельных мельниц работают в условиях ударно-циклических контактных нагрузок, что вызывает высокие требования к несущей способности зубчатой передачи, а также в агрессивных средах (подвержены абразивному износу). Снижение несущей способности определяется такими причинами: разупрочнение зуба у его основания, усталостное выкрашивание контактной поверхности и износ профиля зуба.

Для продления эксплуатационного ресурса быстроизнашивающихся деталей рациональным по параметрам универсальности, доступности, экологичности и экономической эффективности представляется способ поверхностной термообработки плазменной дугой [1,2,3].

Целью плазменной закалки является повышение эксплуатационного ресурса деталей машин за счет упрочнения их поверхностного слоя (толщиной до нескольких миллиметров) термической обработкой плазменной дугой при неизменном общем химическом составе материала и сохранении во внутренних слоях первоначальных свойств исходного металла. Упрочнение является результатом высокоскоростного локального нагрева плазменной дугой поверхностного слоя изделия до высоких (выше AC_3) температур и быстрое его охлаждение со сверхкритической скоростью (свыше $200\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$) в результате теплоотвода в глубинные (внутренние) слои материала изделия. Образующиеся при скоростном нагреве и охлаждении структуры закалочного типа обладают высокими твердостью, износостойкостью и сопротивлением разрушению.

При выборе генераторов плазмы предпочтение следует отдавать плазмотронам прямого действия. Недостатком плазмотронов прямого действия является высокая локальность нагрева ими поверхности обрабатываемой детали [2]. С учетом изложенных требований был использован однодуговой плазмотрон постоянного тока ПВР-401.

Снижение локальности нагрева осуществляется за счет наложения на поток генерируемой плазмы внешнего переменного магнитного поля. Так как поток плазмы представляет собой движущиеся заряженные частицы, то это приводит к тому, что прямолинейно движущаяся заряженная частица плазмы при попадании во внешнее магнитное поле отклоняется от первоначального направления своего движения. Если первоначальное направление движения заряженных частиц перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, то в магнитном поле заряженные частицы движутся по дуге окружности. В результате этого поток плазмы оказывается как бы изогнут по дуге окружности. Расположение центра кривизны дуги окружности определяется направлением силовых линий и магнитной индукцией внешнего магнитного потока. Переменный характер внешнего магнитного поля приводит к колебаниям потока плазмы с частотой изменения магнитного поля, а при достаточной частоте магнитного поля интегральное пятно нагрева на поверхности заготовки вытягивается в линию, следствием чего является снижение локальности нагрева.

При обработке заготовок с подогревом сканирующей дугой, рассматривая условно пятно нагрева как линейный равномерно распределенный быстро движущийся источник теплоты, можем написать

$$\theta_H \approx \frac{437IU\eta_T\sqrt{\omega}}{\lambda B\sqrt{S_M L}}, \quad (1)$$

где η_T - тепловой КПД дуги; λ , Вт/см \cdot °С, и ω , см 2 /с - коэффициенты тепло- и температуропроводности обрабатываемого материала соответственно; B - ширина зоны нагрева (амплитуда сканирования плазменной дуги, мм); S_M - скорость перемещения дуги относительно заготовки, мм/мин [1].

Формула (1) справедлива для расчета температуры подогрева металла на обрабатываемой поверхности при закалке боковой поверхности зуба шестерни.

Для расчета температуры в этом случае, в системе координат $XOYZ$

$$\theta_H(x, y, z) = \frac{218IU\eta_T\sqrt{\omega}}{\lambda b_H\sqrt{S_M X}} \exp\left[-\frac{S_M y^2}{2.4 \cdot 10^4 x}\right] \times \left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{b_H + z}{100} \sqrt{\frac{S_M}{2.4\omega x}}\right] + \operatorname{erf}\left[\frac{b_H - z}{100} \sqrt{\frac{S_M}{2.4\omega x}}\right] \right\} \quad (2)$$

Использование такой технологии позволяет осуществлять поверхностную местную закалку крупногабаритных деталей приводов. Учитывая сложность закалки по традиционным технологиям крупномодульных шестерен, авторы считают, что максимальный эффект от плазменной закалки может быть получен при ее применении для зубчатых колес, вал-шестерен. Кроме того, при плазменной закалке зубчатых колес может быть достигнут дополнительный эффект. Он обусловлен возможностью получения переменной твердости по поверхности зубьев, что позволяет управлять процессом изнашивания зубьев с целью поддержания постоянства качественных показателей зацепления зубчатых колес. На рис. 1 показан образец из стали 40X, поверхность которого подверглась плазменному нагреву. На торцевой поверхности макрошлифа просматривается в виде равномерной светлой полосы слой, отличающийся по травимости от основного металла. Режим нагрева и диаграмма микротвердости по глубине приведена на рис. 2.



Рис. 1 – Образец, подвергнутый нагреву сканирующей плазменной дугой

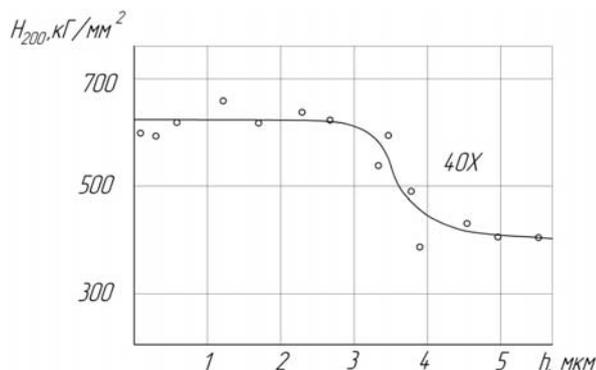


Рис. 2 – Изменение микротвердости поверхностных слоев заготовки

Структура полученного упрочненного слоя, характеризующаяся большой твердостью и высокой дисперсностью, оказывает определяющее влияние на изменение эксплуатационных характеристик упрочненных материалов – износостойкость, механические свойства (прочность, пластичность, трещиностойкость, выносливость), тепло- и коррозионную стойкость [4].

Анализ результатов расчетов и экспериментального исследования тепловых процессов, происходящих в материалах под воздействием плазменного нагрева, и тепловых полей, произведенных при различных размерах источника нагрева, позволяют сделать следующие выводы:

- в условиях ППУ эффективность плазменной дуги, как источника нагрева, существенно зависит от соотношения размеров теплового источника, его скорости и тепловой мощности; рациональным следует считать такое их соотношение, при котором температура нагреваемой поверхности на задней границе пятна нагрева достигает, но не превышает температуры плавления для данного материала;

- в процессе нагрева и охлаждения слои металла срезаемого припуска испытывают различные термические циклы, вследствие чего происходят структурные превращения в одних случаях, либо тепловое разупрочнение в других, повышается пластичность обрабатываемого материала;

- КПД процесса нагрева сканирующей в магнитном поле плазменной дугой можно принимать равным 40%, причем КПД не зависит от температуры припуска, существовавшей на момент плазменного нагрева;

- экспериментами установлено, что с достаточной точностью (15%) характеристика температурного поля заготовки может быть произведена аналитически при представлении источника нагрева плоским с равномерным законом распределения интенсивности.

Список литературы: 1. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / *Н.А. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников.* – М: Машиностроение, 1986. – 232 с. **2.** *Шатерин М.А.* Плазмотрон для плазменно-механической обработки / *М.А. Шатерин, М.Т. Коротких, В.П. Нечаев* // Сварочное производство, 1986. – №8. – С. 27–28. **3.** *Нечаев В.П.* Особенности тепловых процессов при обработке заготовок с плазменным нагревом / *В.П. Нечаев, А.А. Рязанцев* // Вісник Криворізького технічного університету: збірник наукових праць. – Кривий Ріг, 2010. – Вип.26. – С. 157–160. **4.** *Ryazantsev A.A.* Analysis of means of reliability and service life growth for open gear drive of ore-pulverizing mills. - Scientific and Technical Journal «Metallurgical and Mining Industry», 2014, No. 3, p. 16-22.

УДК 539.21+539.534.9+539.16

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ГЛУБИНЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ В ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ ГЕЛИЯ НИКЕЛЕ МЕТОДОМ ФМР

Гайдусь А.Ю., канд. техн. наук, доц., **Калиберда Л.М.**, доц.,
Прихода М.А., ассистент, **Спольник А.И.**, докт. физ.-мат. наук, проф.
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко, Харьков, Украина)

В работе исследована возможность использования ферромагнитного резонанса (ФМР) для получения информации о дефектах структуры, возникших в результате имплантации никеля ионами гелия. Показано, что измерения ширины линии ФМР позволяют получить информацию распределении дефектов на глубине имплантированного слоя.

Ключевые слова: ферромагнитный резонанс, ионная имплантация, распределение дефектов, дислокации, газонаполненные поры, включения.

В роботі досліджена можливість використання феромагнітного резонансу (ФМР) для отримання інформації про дефекти структури, які виникли в результаті імплантації нікелю іонами гелію. Показано, що вимірювання ширини лінії ФМР дозволяє отримати інформацію про розподіл дефектів на глибині імплантованого шару.

Ключові слова: феромагнітний резонанс, іонна імплантація, розподіл дефектів, дислокації, газонаповнені пори, включення.

The paper explored the possibility of using ferromagnetic resonance (FMR) for information about defect structure resulting from implantation of nickel by ions of helium. It is shown that FMR line width measurement provides information about the depth distribution of defects in the implanted layer.

Keywords: ferromagnetic resonance, ion implantation, defects distribution, dislocations, gas-filled pores, inclusions.

Введение. При взаимодействии ускоренных ионов с веществом мишени наряду с процессами распыления поверхности, ионно-ионной эмиссии, происходит проникновение ионов вглубь мишени. Результатом этого является образование радиационных дефектов: вакансий, межузельных атомов, дислокаций. Из-за плохой растворимости инертных газов образуются примесные нарушения в виде пузырьков газа, которые приводят не только к увеличению объема (распуханию) облученного материала, но и, подобно дислокациям, создают вокруг себя неоднородные упругие напряжения [1,2]. Все эти процессы происходят и в конструкционных материалах ядерных реакторов, отрицательно влияя на их радиационную

стойкость [3]. Это позволило найти применение ионной имплантации не только для введения примесей в приповерхностный слой материалов и изменения их физико-химических свойств, но и для моделирования процессов, происходящих в конструкционных материалах ядерных реакторов под действием облучения.

Для определения профиля дефектов, возникающих в результате проникновения ускоренных ионов вглубь мишени, применяются различные известные методы структурного анализа, разрабатываются новые, основанные на физических явлениях, чувствительных к структуре материалов. Некоторые из них приведены в работах [1–4]. В ферромагнитных металлах и сплавах имеется возможность применения ферромагнитного резонанса для исследования процессов структурной перестройки в слоях, имплантированных гелием [5, 6]. Ширина линии ФМР чувствительна к дефектам структуры, окруженным неоднородным полем напряжений. К таким дефектам относятся дислокации и мелкодисперсные инородные включения, например, пузырьки инертных газов. На ширину линии также оказывают существенное влияние пустотелые дефекты-поры. Механизмы влияния таких дефектов на ширину линии ФМР исследованы как теоретически, так и экспериментально (см., например, [7–11] и ссылки там).

Скин-эффект обуславливает целый ряд особенностей ФМР в металлах [12]. Так из-за скин-эффекта на ширину линии влияют только дефекты, локализованные в пределах скин-слоя, толщина которого $\delta \approx 10^{-7}$ м на частоте резонанса $\omega_0 \approx 10^{11} \text{ с}^{-1}$. Это означает, что ширина линии ФМР является интегральной величиной, т.е. несущей информацию о суммарном влиянии всех дефектов, находящихся в объеме скин-слоя.

В то же время скин-эффект открывает возможность получения картины распределения дефектов по глубине имплантированного слоя. Для решения этой задачи была отработана методика удаления травлением нанослоев с поверхности облученного ионами металла и последующим (после каждого травливания) измерении ширины линии ФМР. Стравливание поверхностных слоев изменяло концентрацию дефектов в объеме скин-слоя, что отражалось на ширине резонансной линии. Это сделало возможным получить информацию о профиле радиационных дефектов. Целью настоящей работы является изучение возможности применения метода ФМР для получения профиля распределения радиационных дефектов на глубине имплантированного ионами гелия приповерхностного слоя ферромагнитных металлов.

Методика эксперимента и образцы. Исследования были проведены на образцах поликристаллического никеля в форме дисков диаметром $1,5 \cdot 10^{-2}$ м и толщиной 0,1 мм. Облучение было проведено пучком ионов гелия с энергией 20 кэВ при комнатной температуре. Диапазон значений дозы облучения $1,0 \cdot 10^{16} \dots 1,0 \cdot 10^{18}$ ион $\cdot \text{см}^{-2}$. В работе [5] подробно описаны методики облучения, подготовки образцов, а также данные структурного анализа имплантированного ионами слоя никеля.

Для исследования распределения дефектов, возникших в результате облучения, по глубине имплантированного слоя использовались образцы, облученные дозой $0,6 \cdot 10^{18}$ ион $\cdot \text{см}^{-2}$, и в которых наблюдалось максимальное уширение линии ФМР в результате облучения. Образцы до облучения полировались

электролитическим способом. Состав электролита: 65% H_3PO_4 , 15% H_2SO_4 , 6% CrO_3 , 14% H_2O ; плотность тока $0,3 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ при разности потенциалов между электродами 11В. Этот же состав использовался для послойного удаления поверхности облученных образцов. Плотность тока и время полировки подбирались таким образом, чтобы за одну процедуру удалялся слой толщиной порядка 10^{-8} м. Толщина стравленного слоя определялась с помощью дифференциального взвешивания образцов никеля на прецизионных весах с точностью 10^{-7} кг. Минимальная толщина стравливаемого слоя, которую удалось получить таким способом, составляла (10 ± 3) нм. Измерения ширины линии ФМР производились после каждого стравливания поверхности.

Резонансные измерения проводились на спектрометре ФМР на частоте 37ГГц при комнатной температуре. Чтобы избежать искажений микроволнового поля внутри резонатора образец прижимался к торцу резонатора, закороченного медной пластиной с отверстием диаметром 3 мм. При такой конфигурации электрическое поле на поверхности образца практически отсутствует, а сверхвысокочастотное (СВЧ) магнитное поле максимально. Отверстие в торце резонатора обеспечивало получение сигнала резонансного поглощения только от облученной части образца.

Для регистрации сигнала резонансного поглощения СВЧ энергии использовалась модуляция статического магнитного поля. При этом на самописце регистрировалась производная линии резонансного поглощения.

Для ускорения процесса обработки сигнала ФМР и определения ширины резонансной линии аналоговый сигнал, поступающий с синхронного детектора, с помощью многофункционального модуля преобразовывался в цифровой и благодаря интерфейсу USB 2.0 передавался на компьютер [13]. Специально разработанная компьютерная программа, позволяла получать усредненные по 10 измерениям значения ширины резонансной линии после каждого стравливания поверхностного слоя образца. Погрешность определения ширины линии не превышала 5%.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены результаты измерений ширины линии ФМР, произведенных после каждого удаления поверхностного слоя облученного образца. Поскольку исходная (до облучения) ширина линии составляла 300Э, то, как видно из рисунка, облучение привело к трехкратному увеличению ширины линии.

Структурные исследования поверхности облученных образцов не выявили заметной эрозии их поверхности, влияние шероховатости поверхности на ширину линии можно исключить. Таким образом, влияние на ширину линии оказывают дефекты, образовавшиеся в объеме скин-слоя образца под действием ускоренных ионов и создающие неоднородные поля напряжений внутри металла. К таким дефектам, в первую очередь, относятся дислокации. Пузырьки гелия, создающие неоднородные напряжения, также приводят к уширению линии. Образование при облучении таких дефектов наблюдалось в ряде работ, посвященных имплантации гелия в металлы (см., например, [3–4]). Эффекты уширения резонансной линии этими дефектами могут быть одного порядка [10]. Как видно из рис.1, удаление слоя толщиной 30 нм не привело к изменению ширины резонансной линии. Это означает, что в этом слое отсутствовали

радиационные дефекты, к которым чувствительна ширина линии. дальнейшее стравливание поверхностного слоя приводит к уменьшению ширины линии до исходной величины, измеренной в необлученных образцах. Уменьшение ширины линии происходит в диапазоне от 30 нм до 80 нм за счет удаления слоев, содержащих дефекты. Это позволяет утверждать, что радиационные дефекты сосредоточены в слое толщиной 50 нм. Реальная толщина этого слоя несколько меньше, так как необходимо учитывать дальное действие полей напряжений, создаваемых дефектами. Это касается в большей степени дислокаций, чем пузырьков гелия, так как радиус действия их полей напряжений больше зависит от плотности и распределения дислокаций в кристалле [9–10].

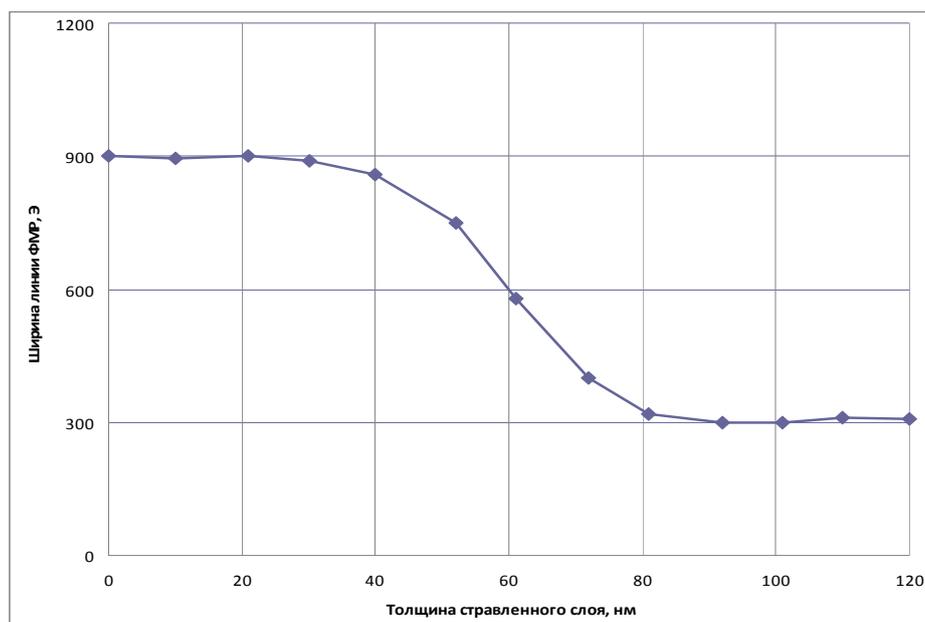


Рис. 1 – Зависимость ширины линии ФМР от толщины стравленного поверхностного слоя никеля, облученного ионами гелия

Рентгеноструктурный анализ выявил уширение дифракционных линий в облученных образцах, свидетельствующее о росте микроискажений, которые определяются, в основном, плотностью хаотически распределенных дислокаций. Предполагая, что основной причиной уширения линии ФМР в результате облучения никеля ионами гелия являются увеличение количества дислокаций, была построена гистограмма распределения их плотности по глубине образца. Для оценки величины n в стравленных слоях были использованы выражение для ширины линии ФМР ΔH , обусловленной дислокациями [9], и результаты, приведенные на рис. 1:

$$\Delta H = A\sqrt{n}, \quad (1)$$

где A – параметр, учитывающий магнитные характеристики ферромагнетика. Для никеля $A = 5,7 \cdot 10^{-3}$ э·см.

Выражение (1) хорошо описывает уширение линии ФМР хаотически распределенными дислокациями, это подтверждено в ряде экспериментальных работ и находится в соответствии с теорией дислокационного уширения линии ФМР [5, 13, 14].

Выводы. 1. Скин-эффект на сверхвысоких частотах в сочетании с последовательным стравливанием поверхностного слоя ферромагнитного металла позволяет использовать ферромагнитный резонанс для получения информации о распределении дефектов, возникших в результате облучения металла ускоренными ионами, по глубине имплантированного слоя. **2.** Чувствительность ширины линии ФМР к неоднородным упругим полям позволяет использовать данную методику для оценки дальнего действия этих полей, создаваемых дислокациями или другими "упругими" дефектами структуры - пузырьками газа, неоднородными включениями. **3.** С помощью этой методики можно следить за кинетикой трансформации дефектной структуры в режиме реального времени в процессе отжига облученных образцов.

К недостаткам предложенной в работе методики можно отнести её применимость только к ферромагнитным металлам и сплавам и нечувствительность к точечным дефектам. Перечисленные возможности предложенной методики, а также относительная простота и экспрессность резонансных измерений с использованием цифровых технологий позволяет надеяться, что она найдет применение наряду с другими методами структурного анализа в исследованиях процессов образования дефектов в результате самых различных воздействий на ферромагнитные металлы и сплавы.

Список литературы: 1. Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах / М. Томпсон. – М.: Мир, 1971. – 367 с. **2.** Хирвонен Дж.К. Ионная имплантация / Дж.К. Хирвонен. – М.: Металлургия, 1985. – 392 с. **3.** Зеленский В.Ф. Радиационные дефекты и распухание металлов / В.Ф. Зеленский, И.М. Неклюдов, Т.П. Черняева. – Киев: Наукова думка, 1988. – 293 с. **4.** Профили дефектов, распределение и местоположения гелия, аргона, криптона и ксенона, ионно-имплантированных в никель / Г.Д. Толстоуцкая, И.Е. Копанец, И.М. Неклюдов, И.Г. Марченко // ВАНТ. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2006. – №4. – С. 52-59. **5.** Спольник А.И. Ферромагнитный резонанс в никеле, облученном ионами гелия / А.И. Спольник, А.Н. Григорьев, А.Н. Морозов // УФЖ. – 1990. – Т.35, вып. 6. – С. 934-936. **6.** Спольник А.И. О возможности применения ФМР для исследования газового распухания металлов / А.И. Спольник, А.С. Абызов, Л.М. Калиберда // УФЖ. – 1997. – Т.42, вып. 6. – С. 755-757. **7.** Спольник А.И. Особенности уширения линии ферромагнитного резонанса объемными дефектами в металлах / А.И. Спольник, Л.М. Калиберда, М.А. Чегорян // УФЖ. – 1989. – Т.34, вып. 5. – С. 764-769. **8.** Ферромагнитный резонанс в металлах с неферромагнитными включениями / А.И. Спольник, А.С. Абызов, И.В. Волчок, М.А. Чегорян // ДАН Украины, 2009. – №11. – С. 78-81. **9.** Ахиезер А.И. Теория дислокационного уширения линии однородного ферромагнитного резонанса / А.И. Ахиезер, В.В. Ганн, А.И. Спольник // ФТТ. – 1975. – Т.17, вып. 8 – С. 2340–2346. **10.** Спольник А.И. Уширение линии ферромагнитного резонанса напряженными порами / А.И. Спольник, З.А. Спольник // УФЖ. – 1993. – Т.38, вып. 12. – С. 56–59. **11.** Белозоров Д.П. Рассеяние однородной прецессии намагниченности на порах / Д.П. Белозоров, А.И. Спольник // УФЖ. – 1977. – Т. 22, вып. 10. – С. 1652–1657. **12.** Спольник А.И. Особенности протекания релаксационных процессов при ферромагнитном резонансе в условиях скин-эффекта / А.И. Спольник, А.Ю. Гайдусь, Л.М. Калиберда // Системи обробки інформації. Випуск 5 (130). – Харків, 2015 р. – С. 48–50. **13.** Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, Ч. Хилл. – М.: Мир, Бинум, 2009. – 704 с. **14.** Кондратьев Е.Ф. Ферромагнитный резонанс в пластически деформированных монокристаллах никеля / Е.Ф. Кондратьев, А.В. Пец // Изв. вузов. Физика. – 1972. – вып. 2. – С. 110-113. **15.** Schmidt W. Ferromagnetic Line width Broadening by Dislocations in Metals / W. Schmidt // Acta physika Pol. – 1976. – А 50, №5. – Р. 697-711.

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В КРИСТАЛЛАХ С ДВИЖУЩИМИСЯ ДИСЛОКАЦИЯМИ

Гайдусь А.Ю., канд. техн. наук, доц.,

Спольник А.И., докт. физ.-мат. наук, проф.

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко, Харьков, Украина)*

В работе теоретически изучено влияние движения дислокаций на процесс рассеяния однородной спиновой волны, возбуждаемой при ферромагнитном резонансе. Проанализирована зависимость ширины резонансной линии от скорости движения дислокаций.

Ключевые слова: ферромагнитный резонанс, скорость движения дислокаций

В роботі теоретично вивчено вплив руху дислокацій на процес розсіювання однорідної спінової хвилі, яка збуджується при ферромагнітному резонансі. Проаналізована залежність ширини резонансної лінії від швидкості руху дислокацій.

Ключові слова: ферромагнітний резонанс, швидкість руху дислокацій

In the article theoretically studied the influence of dislocation motion on the process of homogeneous dispersion of spin waves excited at ferromagnetic resonance. It is analyzed the dependence of the width of the resonance line on the velocity of dislocations.

Keywords: ferromagnetic resonance, the rate of motion of dislocations

Постановка задачи. Рассеяние однородной спиновой волны, возбуждаемой при ферромагнитном резонансе (ФМР), отражается на ширине резонансной линии [1]. Дефекты кристаллической решетки, в частности, дислокации, создают канал релаксации спиновых волн. Это позволяет по ширине линии ФМР получать информацию о плотности распределении дислокаций в ферромагнитных кристаллах. Этот вопрос подробно исследован теоретически и экспериментально (см., например, [2] и ссылки там).

Для физики пластичности металлов представляет большой интерес получение информации о движении дислокаций. Широко используемая для влияния на прочностные свойства металлов ультразвуковая обработка последних, может вызывать движение имеющихся в нем дислокаций, активировать источники новых дислокаций, а также вызывать колебания дислокаций [3]. Представляет интерес изучение влияния движения дислокаций на рассеяние однородной звуковой волны. Это создаст предпосылки в дальнейшем использовать метод ФМР для исследования динамики дислокаций. В области высоких значений магнитных полей $H \gg 4\pi M_0$ это взаимодействие представляет собой обычный процесс рассеяния спиновых волн дислокационными «фононами»:

$$H_{\text{int}} = \sum_{k, k'} \Phi(k, k') \alpha_k^+ \alpha_{k'} e^{-i\omega t \delta_{k, k'+q}}, \quad (1)$$

где $\Phi(q) = \mu M_0 \gamma [u_{xx}(q) + u_{yy}(q) - 2u_{zz}(q)]$ – амплитуда взаимодействия; $q = k' - k$ – переданный импульс; $\alpha_k^+, \alpha_{k'}$ – операторы рождения и уничтожения спиновых волн; $\omega = (q \cdot v)$ – частота дислокационного «фонона»; $u_{ik}(q)$ – Фурье –

образ статического тензора деформации дислокации; γ – магнестрикционная постоянная; v – вектор скорости дислокации; μ – магнетон Бора.

Рассчитаем вероятность рассеяния однородной спиновой волны на упругом поле равномерно движущейся дислокации, исходя из выражения

$$w = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_k |\Phi(0, k)|^2 \delta[\varepsilon(k) + \hbar\omega - \varepsilon_0], \quad (2)$$

где $\varepsilon(k) = 2\mu M_0(H/M_0 + \alpha k^2 + 2\pi \sin^2 \theta_k)$ – закон дисперсии магнонов, $\varepsilon_0 = 2\mu M_0[H/M_0 + 2\pi(N_x + N_y)]$, N_x, N_y – размагничивающие факторы, θ – угол между вектором k и внешним магнитным полем, M_0 – намагниченность насыщения. Рассмотрим для простоты рассеяние спиновых волн на поле винтовой дислокации. Амплитуду взаимодействия запишем в виде [3]:

$$\Phi(0, k) = -6i\mu M_0 \gamma b \sin 2\theta [1 - J_0(r_1 k_\perp)] \frac{k_x}{k_\perp^2} \frac{\pi \delta(k_\parallel)}{V}, \quad (3)$$

где θ – угол между осью дислокации и вектором M_0 ; $k_x = k_\perp \cos \varphi$; k_\perp, k_\parallel – поперечная и продольная составляющие вектора k ; φ – азимутальный угол вектора k в плоскости, перпендикулярной M_0 ; объём кристалла.

Подставляя (3) в (2), найдем после некоторых преобразований

$$w = \frac{9L\mu M_0 (\gamma b)^2 \sin^2 2\theta \int_0^{2\pi} \cos^2 \varphi [1 - J_0(r_1 k_\perp)]^2 d\varphi}{4\pi V \alpha \hbar \int_0^{2\pi} k_1 \left(k_1 + \frac{\hbar v_\perp \cos \varphi}{4\mu M_0 \alpha} \right)}, \quad (4)$$

где $k_1 = \sqrt{(\nu_1 \cos \varphi / \nu_0 \sqrt{\alpha})^2 + \frac{2\pi}{\alpha} (N_x + N_y - \sin^2 \theta_k)}$; ν_\perp – проекция вектора скорости дислокации на плоскость перпендикулярную M_0 ; $2L$ – длина дислокации.

Проанализируем скоростную зависимость вероятности w в двух предельных случаях – малых ($\nu \ll \nu_0 / N$) и больших ($\nu \gg \nu_0$) скоростей, когда интеграл, фигурирующий в выражении (4), допускает сравнительно простое представление в аналитическом виде.

а) Случай малых скоростей $\nu \ll \nu_0 / N$. В этом случае выражение для вероятности рассеяния однородной спиновой волны можно привести к виду

$$w = \frac{9}{\pi^2} (gM_0) (\gamma b)^2 \frac{L}{V} \cos^2 \theta \int_{\sqrt{\bar{x}_m}}^{\sqrt{\bar{x}_M}} \frac{[1 - J_0(N_\chi)]^2}{\chi} \sqrt{\frac{x_M - \chi^2}{\chi^2 - x_m}} d\chi - \frac{9}{2\pi^3} (gM_0) (\gamma b)^2 \frac{L}{V} \cos^2 \theta \left(\frac{N\nu_\perp}{2\nu_0} \right) \int_{\sqrt{\bar{x}_m}}^{\sqrt{\bar{x}_M}} \frac{d\chi}{\chi} J_2(N_\chi) \frac{[x_M - \chi^2]^{3/2}}{\sqrt{\chi^2 - x_m}}, \quad (5)$$

где $\bar{x}_m = x_m \theta(x_m)$, $\bar{x}_M = x_M \theta(x_M)$; $\theta(z)$ – единичная функция Хевисайда; $x_m = -2\pi N_z$, $x_M = 2\pi(\sin^2 \theta - N_z)$.

Замечая далее, что вклад отдельной дислокации в ширину линии ФМР определяется формулой:

$$\Delta H_s = \omega / g, \quad (6)$$

находим

$$\Delta H_s = \Delta H_s^{(0)} \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Nv_{\perp}}{v_0} \right)^2 \right] \right\}, \quad (7)$$

где $\Delta H_s^{(0)} = \left(\frac{3}{\pi} \right)^2 g M_0 (\gamma b)^2 \frac{L}{V} \cos^2 \theta \int_{\sqrt{x_m}}^{\sqrt{x_M}} \frac{d\chi}{\chi} [1 - J_0(N\chi)]^2 \sqrt{\frac{x_M - \chi^2}{\chi^2 - x_m}}$ – статистическое уширение линии ФМР определяемое отдельной дислокацией [2]. Здесь g – гиромагнитное отношение.

б) Случай больших скоростей $v \gg v_0$. В этом случае $k_1 = v_{\perp} \cos \varphi / v_0 \sqrt{\alpha}$, и подынтегральное выражение в формуле (4) существенно упрощается после введения новой переменной $x = Nv_{\perp} \cos \varphi / v_0$

$$w = \frac{9LgM_0(\gamma b)^2 \sin^2 2\theta \left(\frac{v_0}{v_{\perp}} \right)^2}{4\pi} I, \quad (8)$$

где $I = \int_0^A \frac{[1 - J_0(x)]^2 dx}{\sqrt{A^2 - x^2}}, A = \frac{Nv_{\perp}}{v_0}$.

Замечая, что $I = \pi/2$, находим для вклада отдельной дислокации в ширину линии однородного ФМР следующее выражение

$$\Delta H_s = \frac{9}{8} \gamma^2 M_0 \frac{Lb^2}{V} \sin^2 2\theta \left(\frac{v_0}{v} \right)^2. \quad (9)$$

Таким образом, вклад в ширину линии однородного ФМР, определяемый отдельной дислокацией, равномерно движущейся в ферромагнетике, существенно зависит от скорости движения дислокации: при низких скоростях $v \ll v_0 / N$ с точностью до членов порядка v/v_0 совпадает с вкладом для неподвижной дислокации, а при скоростях $v \gg v_0$ убывает при возрастании скорости $\sim (v/v_0)^2$.

Обсуждение результатов. Воспользовавшись выражениями (7) и (9), были проанализированы зависимости уширения линии от скорости дислокаций. при малых скоростях $v \ll v_0 / N$, где $v_0 = 2gM_0\sqrt{\alpha}$ – минимальная фазовая скорость спиновых волн, $N = r_1 / \sqrt{\alpha}$ – параметр, пропорциональный радиусу "экранирования" r_1 упругого поля деформации [4] ($N \gg 1$), α – обменная постоянная, уширение с точностью до членов порядка v/v_0 совпадает с уширением неподвижными дислокациями, а при больших скоростях $v \gg v_0$ с увеличением скорости убывает пропорционально $(v_0/v)^2$. Для того чтобы проанализировать суммарный вклад всех движущихся дислокаций в ширину линии ФМР, рассмотрим случай касательно намагниченной пластинки, когда статическое дислокационное уширение достигает максимального значения [2]. В этом случае $N_z = N_x = 0$, $x_m = 0$, $x_M = 2\pi \sin^2 \theta$, и из (7) настоящей работы и формулы (22) работы [2] следует выражение для ΔH_s , справедливое при $v \ll v_0 / N$,

$$\Delta H_s \cong \frac{18}{\pi^2} \sqrt{2\pi} \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \gamma^2 M_0 \frac{b^2 L}{V} N \sin \theta \cos^2 \theta. \quad (10)$$

Если ограничиться рассмотрением монокристаллов, в которых движение дислокаций под действием внешних приложенных напряжений происходит в одной плоскости (1 стадия пластической деформации монокристаллов - стадия легкого скольжения), то для нахождения суммарного вклада всех движущихся дислокаций в ширину линии ФМР необходимо произвести усреднение по всем дислокациям, расположенным в плоскости скольжения, и умножить результат на полное число подвижных дислокаций в плоскости скольжения $(V/2L)\rho$ (ρ – плотность подвижных дислокаций). Полный вклад всех дислокаций (как статических, так и движущихся) в ширину линии ФМР при $v \ll v_0 / N$:

$$\Delta \bar{H}_s = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^2 \sqrt{2\pi} (\pi - 2) (\gamma b)^2 M_0 N \{n + f(\cos \beta) \rho\}, \quad (11)$$

где n – плотность неподвижных дислокаций; β – угол между направлением вектора намагниченности и плоскостью скольжения,

$$f(y) = \frac{32}{3\pi^2} \left[(1 - y^2) K(y) + (2y^2 - 1) E(y) \right],$$

$K(x)$ и $E(x)$ – полные эллиптические интегралы I и II рода соответственно.

При высоких скоростях движения дислокации $v \gg v_0$ усреднение выражения (9) приводит к формуле для ширины линии однородного ФМР:

$$\Delta \bar{H}_s = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^2 \sqrt{2\pi} (\pi - 2) (\gamma b)^2 M_0 N_n + \frac{9}{8} (\gamma b)^2 M_0 \left(\frac{v_0}{v_\perp}\right)^2 \rho \cos^2 \beta \left(1 - \frac{3}{4} \cos^2 \beta\right). \quad (12)$$

Формулы (11) и (12) описывают зависимость ширины линии однородного ФМР от плотности дислокаций и скорости движения.

Экспериментальное наблюдение влияния движения дислокаций на релаксацию однородной спиновой волны представляет значительной трудности. Это связано с тем, что на практике невозможно обеспечить однонаправленное движение значительного количества дислокаций с одинаковой скоростью. Кроме этого, скорости движения дислокаций в процессе пластической деформации намного превосходит скорость регистрации линии ФМР, особенно в случае линий с большой шириной, что характерно для металлических ферромагнетиков, в которых из-за спин-эффекта происходит искажение формы линии и её уширение. Поэтому на ширину линии окажут влияние только дислокации, которые остались в кристалле на своих местах. Нахождение доли подвижных дислокаций в общей плотности дислокаций ρ/n_0 в настоящее время производится на основе экспериментов по вязкому торможению дислокаций. Из небольшого числа работ, посвященных этому вопросу следует, что эта величина изменяется в очень широких пределах от 10^{-5} до $2 \cdot 10^{-1}$ в зависимости от свойств кристаллов. Вероятно, в некоторых условиях пластической деформации (например, когда в плоскостях скольжения происходит массовое размножение и перемещение дислокаций) это отношение становится порядка единицы.

Представляется интересным проведение экспериментов в образцах, к которым прикладывается переменное упругое поле, в частности, ультразвуковое, техника, использования которого в физике твердого тела хорошо известна [5]. При этом можно добиться, чтобы дислокации не перемещались со своих мест, а совершали вынужденные колебания вблизи положения равновесия. Подбором амплитуды и частоты ультразвука можно добиться коллективных колебаний решетки параллельных дислокаций и провести измерения ширины ФМР. Такая идеальная ситуация описана в [6]. При воздействии ультразвука удастся избежать изменения формы образца, что важно для измерений ФМР.

В настоящей работе рассмотрено движение дислокаций, приводящее к рассеянию однородной спиновой волны, обусловленное магнитоупругой связью между неоднородным полем деформации вокруг дислокаций и спиновой системой ферромагнетика. Однако возможны и другие эффекты, обусловленные колебанием дислокаций. Вынужденные колебания дислокационных "фононов" могут возбуждать магнитные колебания. Для этого частоты колебаний должны лежать в области, по крайней мере, ультразвука. В идеализированной ситуации, описанной в [6], возбуждение магнитных колебаний будет носить резонансный характер подобно возбуждению магнитных колебаний звуковыми, приводящем к магнитоакустическому резонансу [1]. Прямое рассеяние однородной спиновой волны на дислокационных "фононах" согласно [1] будет давать пренебрежимо малый вклад в ширину линии ФМР.

Выводы. 1. Движение дислокаций влияет на ширину линии ФМР. В отличие от неподвижных дислокаций движущиеся дислокации могут приводить как к уширению линии ФМР, так и к сужению. Это зависит от скорости дислокаций. При малых скоростях динамическое уширение совпадает со статическим (т.е. неподвижными дислокациями).

2. Метод ФМР можно использовать для оценки доли подвижных дислокаций в общем количестве дислокаций в процессе пластической деформации ферромагнетика.

3. Представляет большой интерес проведение измерений ФМР ферромагнетиках с системой колеблющихся дислокаций в переменном упругом внешнем поле. Это позволит экспериментально исследовать скоростную зависимость влияния движения дислокаций на ФМР.

4. Предполагается что, колебания системы параллельных дислокаций с ультразвуковой частотой может привести к связи между дислокационными "фононами" и магнитными колебаниями, которая будет носить резонансный характер.

Список литературы: 1. Ахиезер А.И. Спиновые волны / А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский. – М.: Наука, 1967. – 368 с. 2. Ахиезер А.И. Теория дислокационного уширения линии однородного ферромагнитного резонанса / А.И. Ахиезер, В.В. Ган, А.И. Спольник // ФТТ.— 1975. – Т.17, вып.8. – С. 2340-2346. 3. Тяпунина Н.А, Действие ультразвука на кристаллы с дефектами / Н.А. Тяпунина, Е.К. Наими, Г.М. Зиненкова. – М.: МГУ, 1999. – 238 с. 4. Барьяхтар В.Г. Динамическое торможение дислокаций в ферромагнетиках / В.Г. Барьяхтар, Е.И. Друинский // ЭТФ. – 1977. – Т.72, вып.1. – С. 218-224. 5. Труэлл Э. Ультразвуковые методы в физике твердого тела / Э. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. – М.: Мир, 1972. – 307 с. 6. Косевич А.М. Коллективные колебания решетки винтовых дислокаций как пример динамики акустической сверхрешетки / А.М. Косевич // ФНТ. – 2003. – Т.29, вып.8. – С. 930-933.

ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ МОСТОВИМ АВТОМАТИЗОВАНИМ КРАНОМ

Свіргун В.П., канд. техн. наук

(Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна)

Свіргун О.А., канд. техн. наук

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Харків, Україна)*

У статті порівнюються графіки перехідних процесів при оптимальному за швидкодієністю управлінні з графіками, що використовуються у зарубіжних автоматизованих кранах.

Ключові слова: *кран, оптимальне керування, усунення коливань.*

В статье сравниваются графики переходных процессов при оптимальном по быстродействию управлении с графиками, которые используются в зарубежных автоматизированных кранах.

Ключевые слова: *кран, оптимальное управление, устранение колебаний.*

The article compares the schedules of transients in the optimal control with graphics that are used in foreign automated cranes.

Key words: *crane, optimal control, elimination of vibrations*

При автоматизації крана, шляхом застосування мікропроцесорної техніки, виникає проблема розгойдування вантажу, що ускладнює точне наведення його на ціль – трюм судна, вагон, бункер тощо. Тому вирішення проблеми усунення коливань вантажу і точне позиціонування є першочерговою задачею при намаганні перейти в автоматичний режим керування. Різні кранобудівні фірми в якості основного засобу вирішення цієї проблеми застосовують один метод – змінення руху точки підвісу вантажу по певному закону (розгін-гальмування). Пропонується безліч способів усунення коливань вантажу. Але вони часто не відповідають головній вимозі до процесу перевантаження – максимальна швидкодієність. Тобто, перевантажувальний цикл має бути найкоротшим за часом, з тим щоб за добу здійснити найбільшу кількість таких циклів, тим самим забезпечив максимальну виробність крану.

Найбільш популярний спосіб усунення коливань вантажу, який застосовується у більшості автоматизованих кранів, наприклад фірми Krupp (Німеччина), полягає в тому, що вантажний візок розганяється зі сталим прискоренням протягом часу, яке дорівнює періоду вільних коливань маятника (рис. 1).

Із класичної теоретичної механіки легко довести, що дійсно після закінчення розгону або гальмування маятникова система "візок-вантаж" буде перебувати у стані без коливань. Але цей популярний засіб усунення коливань має значні вади, які розглянемо окремо.

По-перше, навіщо марнувати час на усунення коливань вантажу при розгоні? Нам важливо, щоб їх не було в кінці руху крану. Але, зрозуміло, що якщо це не зробити при розгоні, отримаємо ненульові фазові координати перед поча-

твом гальмування і цим способом не усунути коливання вантажу в кінці. Таким чином ми вимушені витратити певний час на усунення коливань при розгоні.

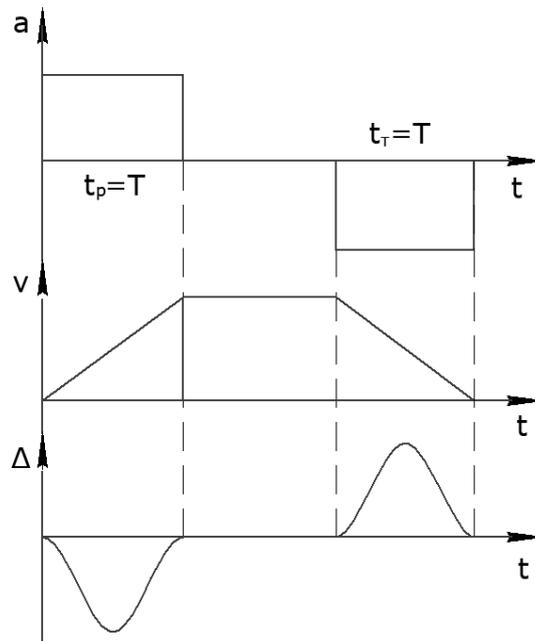


Рис. 1 – Спосіб усунення коливань вантажу на кранах фірми Kipp

По-друге, пряма залежність часу на розгін і гальмування від довжини підвісу робить цей спосіб усунення коливань вкрай неефективним при великій довжині підвісу. На рис. 2 показана залежність часу на розгін (гальмування) від довжини канату. У цьому випадку говорити про швидкодійність перевантажувального процесу не доводиться.

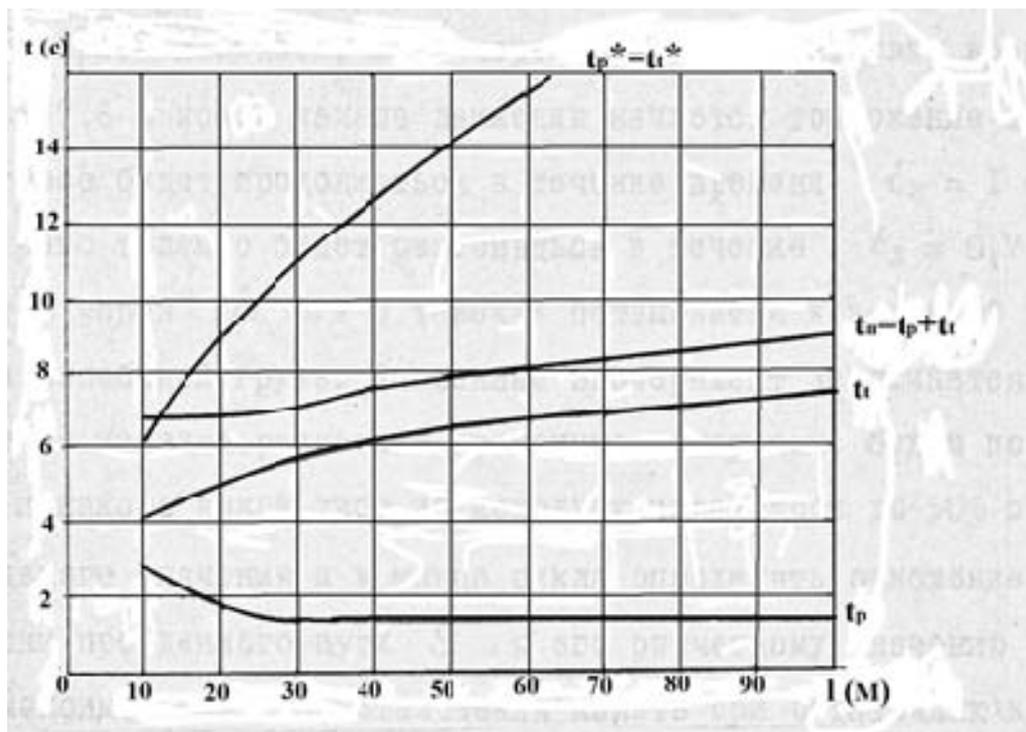


Рис. 2 – Залежність тривалості перехідних процесів від довжини канату

По-третє, цей спосіб усунення коливань вантажу просто неприйнятний, коли відстань від точки завантаження до точки розвантаження невелика (до 10м), а це можливо, наприклад, коли вагон (точка розвантаження) знаходиться на пірсі поблизу судна (точка завантаження). Так от, розгін з гасінням коливань вантажу просто не встигне закінчитися, як має початися гальмування.

Тому висновок простий – спосіб усунення коливань вантажу "по періоду коливань" є неефективний за швидкодійністю.

Що пропонується взамін. У роботах [1], [2], [3] розглянуті альтернативні способи керування автоматизованим краном. На рис. 3 приведений типовий закон керування мостовим грейферним краном.

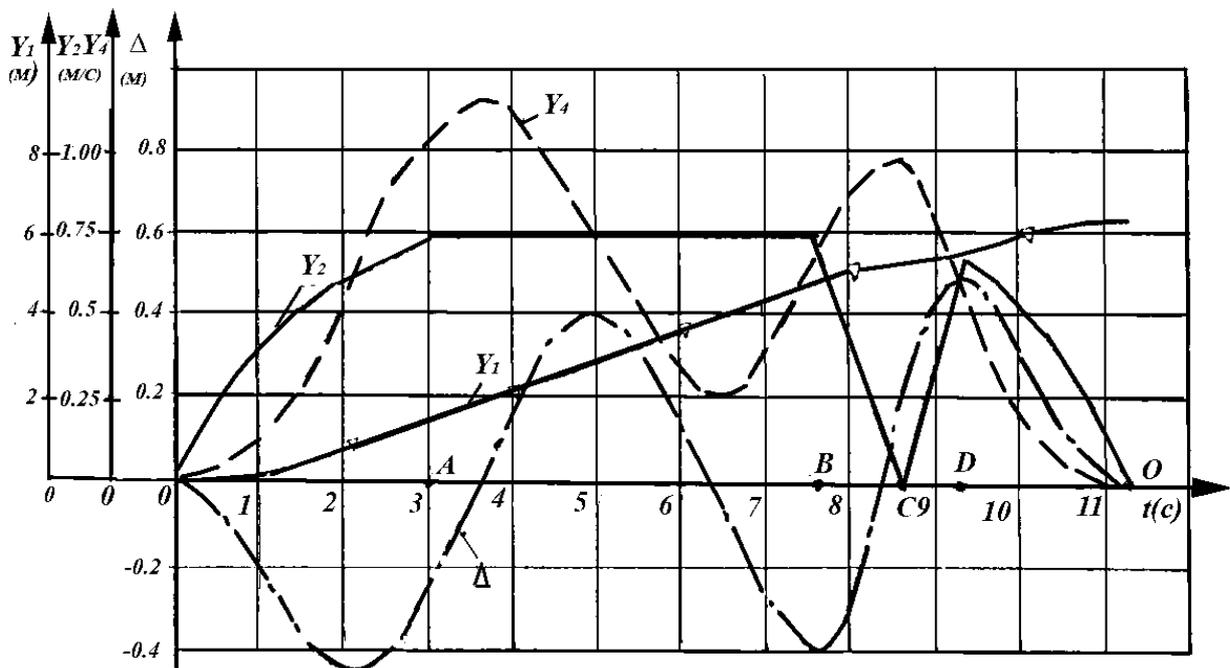


Рис. 3 – Графіки перехідних процесів при оптимальному керуванні
 Y_1, Y_3 -пересування візка і вантажу; Y_2, Y_4 -швидкість візка і вантажу

Ми бачимо, що при розгоні коливання вантажу не усуваються, а здійснюється вихід на максимальну швидкість візка в найкоротший час. Природно, що при цьому виникають коливання вантажу і перед початком гальмування матимемо різні фазові стани системи "візок - вантаж". Але розроблені алгоритми дозволяють отримати максимальні за швидкодійністю закони управління швидкістю візка для будь-якого фазового стану перед початком гальмування. Кожний такий закон матиме типовий порядок "гальмування-розгін-гальмування". Тільки час кожного етапу буде різний. Такий спосіб управління не має тих вад, що приведені вище:

по-перше, ми не гаємо зайвого часу на усунення коливань при розгоні;

по-друге, термін перехідних процесів майже не залежить від довжини канату (рис. 2, три графіка знизу);

по-третє, цей спосіб можна застосовувати при будь-якій відстані між точками завантаження і розвантаження. Просто процес гальмування почнеться одразу після розгону без ділянки сталого руху візка. Треба визначити, що при

великій довжині підвісу (більше 20м) можуть виникнути небезпечно великі амплітуди коливань вході перевантажувального циклу. Тому був розроблений модернізований алгоритм оптимального керування з урахуванням обмеження на максимальне відхилення вантажу від стану покою.

Список літератури: 1. Свиргун В.П. Повышение производительности крана путем увеличения его скорости передвижения с одновременным устранением колебаний груза и точным позиционированием / В.П. Свиргун, О.А. Свиргун // Физические и компьютерные технологии: труды 15-й Международной научно-технической конференции. – Х.:ХНПК «ФЭД», 2009. – С. 324-328. 2. Свиргун В.П. Улучшение качества управления краном с минимизацией времени перегрузочного цикла / В.П. Свиргун, О.А. Свиргун // Вісник СевНТУ. Вип. 133: Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. - Севастополь: Вид. СевНТУ, 2012, С. 34–36. 3. Свиргун В.П. Квазиоптимальный закон управления крановой тележкой / В.П. Свиргун, О.А. Свиргун // Вісник СевНТУ. – Вип. 137: Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – Севастополь: Вид. СевНТУ, 2013. – С. 96–98.

УДК 631.362:532

ДИНАМІКА ЗЕРНОСУМІШЕЙ ЗМІННОЇ ПОРИСТОСТІ НА ВІБРОРЕШЕТАХ

Ольшанський В.П., докт. фіз.-мат. наук, **Бурлака В.В.**, канд. техн. наук,
Сліпченко М.В., канд. техн. наук, **Малець О.М.**, аспірант
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенка, Харків, Україна)

В роботі складено та проінтегровано аналітично диференціальні рівняння руху зерноsumішей по віброрешетах з урахуванням зміни пористості або питомої маси сипкого матеріалу по товщині рухомого шару.

Ключові слова: віброрешето, зернопотік, змінна пористість, апроксимації пористості, швидкість руху, продуктивність решета.

В работе составлены и проинтегрированы аналитически дифференциальные уравнения движения зерноsumесей по виброрешетам, с учетом изменения порозности или удельной массы сыпучего материала по толщине движущегося слоя.

Ключевые слова: виброрешето, зернопоток, переменная порозность, аппроксимация порозности, скорость движения, производительность решета.

In this paper are made and integrating by analytic the differential equations of motion of grain mixtures on vibrosieve, adjusting porosity or specific gravity of the bulk material through the thickness of the moving layer.

Keywords: vibrosieve, grain flows, variable porosity, porosity approximation, velocity of motion, productivity sieve.

Актуальність теми. Від швидкості руху зерноsumіші по віброрешету залежить якість сепарування зернового матеріалу і продуктивність зерноочисної техніки. Збільшення швидкості зернопотоку супроводжується збільшенням продуктивності віброрешета по сходовій фракції, але при цьому може знизитись якість сепарування (відсоток прохідової фракції). Тому раціональне використання зерноочисної техніки тісно пов'язане з інформацією про вплив різних чинників на швидкість зернопотоку. Таку інформацію можна оперативно одер-

жати за допомогою адекватних математичних моделей зернопотоків. Отже, розробка математичних моделей руху зерноsumішей по решетах відноситься до актуальних науково-технічних задач.

Огляд останніх публікацій. Із континуальних моделей зернопотоків найбільш поширені гідродинамічні моделі [1, 2], в яких використана лінійна залежність дотичного напруження від швидкості деформації зсуву, що є аналогом відомої залежності Ньютона в теорії рідини. Більш загальні нелінійні двохпараметричні та трьохпараметричні реологічні залежності використано в [3]. У роботах [1, 2], крім руху однорідних, розглядали і динаміку неоднорідних вібророзріджених зерноsumішей зі змінною в'язкістю по товщині рухомого шару. Стосовно робіт, де йшлося про рух неоднорідних сумішей змінної пористості на віброрешетах, відзначимо [4-6]. В них, спочатку числовим, інтегруванням на комп'ютері нелінійного диференціального рівняння другого порядку визначали розподіл концентрації зернівок по товщині рухомого шару, а потім, враховуючи його при числовому інтегруванні диференціального рівняння зернотоку. Тут пропонується більш простий спосіб розранку кінематичних характеристик зерно потоку, який не потребує числового інтегрування диференціальних рівнянь. Він ґрунтується на використанні аналітичних апроксимацій розподілу пористості. Метою роботи є розробка спрощеного способу обчислення швидкості руху зерноsumіші змінної пористості та продуктивності решета і його питомого завантаження.

Основна частина роботи. Для апроксимації концентрації зерен по товщині шару використовуємо два варіанти аналітичних залежностей: степеневу і поліноміальну (у вигляді квадратного трьохчлена). У випадку плоского віброрешета, названі апроксимації мають вигляд:

$$v(y) = v_0(1 + 1,028\eta^\lambda); \quad v(y) = v_0\left(1 + \frac{a}{h}y + \frac{b}{h^2}y^2\right). \quad (1)$$

Тут $\eta = \sqrt[3]{\frac{\beta}{v_0}}y$; $\beta = \frac{\gamma g \cos \theta}{2\alpha\psi}$; $a = 0,3483\left(\frac{\beta h^3}{v_0}\right)^{\lambda/3}$; $b = 0,6797\left(\frac{\beta h^3}{v_0}\right)^{\lambda/3}$; $\lambda = 1,579$; v_0 – концентрація зерен біля вільної поверхні суміші $y = 0$; h – товщина рухомого шару; γ – питома маса матеріалу зернин в суміші; g – прискорення вільного падіння; θ – кут нахилу решета до горизонту; α – реологічна стала, що залежить від наявності на поверхні решета активаторів процесу сегрегації; ψ – множник, який залежить від амплітуди A_k коливальних решета з круговою частотою ω , та від коефіцієнта f_0 сухого тертя в суміші в стані спокою.

Для обчислень ψ в [4-6] запропоновано формули:

$$\psi = \frac{\sqrt{1 + \varphi^2} - \varphi}{\varphi}; \quad \varphi = \frac{f_0}{2}(1 + e^{-B}); \quad B = \frac{A_k \omega^2}{g}.$$

Залежності, аналогічні (1), виведено і для обчислення концентрації зерен у циліндричному шарі суміші, де враховано дію відцентрової сили.

Швидкість руху суміші змінної пористості $u = u(y)$ по плоскому решету задовольняє диференціальному рівнянню:

$$\frac{du}{dy} = -\frac{\gamma g}{\mu} (\sin \theta - f \cdot \cos \theta) \int_0^y v(t) dt, \quad (2)$$

за умови, що: $u(h) = u_0$. Тут μ, f - реологічні сталі, що характеризують відповідно в'язке і залишкове сухе тертя у віброзрідженій суміші; u_0 - швидкість ковзання суміші по поверхні решета.

У випадку вертикального циліндричного віброрешета рівняння руху суміші має більш складну формулу і його тут не приводимо.

Рівняння (2) інтегрується аналітично, після підстановки в нього виразів (1). Так, при використанні поліноміальної апроксимації $v(y)$, одержуємо наступну формулу для обчислення швидкості зернопотоку:

$$u(y) = c \left[v_0 (h^2 - y^2) + \frac{a}{3h} (h^3 - y^3) + \frac{b}{6h^2} (h^4 - y^4) \right] + u_0; \quad (3)$$

$$c = \frac{\gamma g (\sin \theta - f \cdot \cos \theta)}{2\mu} > 0.$$

Обчислення продуктивності віброрешета P по сходовій фракції зводиться до інтегрування:

$$P = \gamma H \int_0^h v(y) u(y) dy, \quad (4)$$

де H - ширина робочої (перфорованої) частини решета.

Підставивши (3) і (1) в (4), отримуємо:

$$P = \gamma H h \left\{ u_0 \left(v_0 + \frac{a}{2} + \frac{b}{3} \right) + c h^2 \left[v_0 \left(\frac{2}{3} v_0 + \frac{a}{2} + \frac{4b}{15} \right) + \frac{a}{4} \left(\frac{2a}{5} + \frac{4b}{9} \right) + \frac{2b^2}{63} \right] \right\}. \quad (5)$$

Знаючи P , легко обчислити і питоме завантаження решета q , бо

$$q = P / (LH). \quad (6)$$

Тут L - довжина перфорованої частини решета.

У вигляді компактних розрахункових формул одержано також розв'язки рівняння руху суміші і в циліндричному віброрешеті.

Висновки. Викладений тут спосіб аналітичного розрахунку зернопотоку, з урахуванням зміни пористості суміші по товщині рухомого шару, може бути альтернативою іншим відомим методам розрахунку Він досить точний і простий у реалізації, оскільки зводиться до використання компактних розрахункових формул.

Список літератури: 1. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харків: Міськдрук, 2011. – 280с. 2. Динамика виброцентробежной зерноочистки / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский и др. – Харків: Міськдрук, 2013. – 440 с. 3. Ольшанський В.П. Математичні моделі зернопотоків по віброрешетах / Ольшанський В.П., Ольшанський О.В. – Харків: Міськдрук, 2016. – 140 с. 4. Пивень М.В. Обоснование параметров процесса решетного сепарирования зерновых смесей: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / М.В. Пивень. – Харків: ХНТУСХ им. П. Василенко, 2006. – 260 с. 5. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, М.В. Пивень и др. – Харків: Міськдрук, 2010. – 360 с. 6. Тищенко Л.Н. Обоснование процесса сегрегации зерновых смесей при сепарировании виброцентробежными решетками / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень, В.В. Бредихин // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2013. – Vol. 15, № 7. – P. 105-112.

СПОЖИВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОДОВОЛЬЧИХ ПРОДУКТІВ В УКРАЇНІ

Богданович О.А.

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Харків, Україна)*

Рівень задоволення потреб населення України в продуктах харчування є задовільним. Недостатній рівень споживання білкової їжі тваринного походження і рослинних олій і фруктів. Необхідне забезпечення якісних характеристик продовольства.

Ключові слова: *споживання, продукти харчування, продовольство, раціональна межа*

Уровень удовлетворения потребностей населения Украины в продуктах питания является удовлетворительным. Недостаточный уровень потребления белковой пищи животного происхождения и растительных масел и фруктов. Необходимо обеспечить качественные характеристики продовольствия.

Ключевые слова: *потребление, продукты питания, продовольствие, рациональная граница*

The level of satisfaction of needs of the population of Ukraine in food products is satisfactory. Insufficient consumption of protein foods of animal origin and vegetable oils and fruits. Necessary to ensure the quality characteristics of food.

Keywords: *consumption, food, food, the rational boundary*

Законопроект «Про продовольчу безпеку України» [1] визначає аграрну політику щодо гарантування продовольчої безпеки - соціально-економічного та екологічного стану в державі, при якому всі її громадяни стабільно та гарантовано забезпечені продовольством в необхідній кількості, асортименті та відповідної якості. Продовольче незалежною держава визнається тоді, коли виробництво основних харчових продуктів знаходиться в обсягах, не менших встановленого граничного рівня їх питомої ваги в товарних ресурсах внутрішнього продовольчого ринку. Оцінка стану продовольчої безпеки здійснюється на основі наступної системи індикаторів:

1. Рівень споживання населенням харчових продуктів.
2. Економічна доступність харчових продуктів.
3. Фізична доступність харчових продуктів.
4. Стійкість продовольчого ринку.
5. Ступінь незалежності продовольчого ринку.
6. Якість і безпечність харчової продукції.
7. Рівень розвитку агропродовольчої сфери.
8. Природно-ресурсний потенціал і ефективність його використання.

Рівень споживання основних продовольчих продуктів оцінювався через індикатори достатності споживання продуктів харчування на одну особу, що визначалися як відношення фактичного обсягу споживання до мінімальної норми споживання (табл.1).

Виконаний аналіз свідчить про те, що аграрно-продовольчий ринок України функціонує в умовах низького попиту переважної більшості населення майже на всі продовольчі продукти. Значно зменшилося споживання таких

продуктів як м'ясо і м'ясопродукти, молоко і молокопродукти, риба, в той час як споживання яєць, картоплі, овочів й баштанних та олії збільшилось. Дана тенденція свідчить про економічну кризу в середині країни, коли через суттєве зростання цін на продукти харчування населення стало обмежувати себе в їх споживанні. Відповідно населення все більше стало споживати дешевих хлібобулочних виробів, яєць, картоплі, овочів. Споживання таких важливих для організму людини продуктів як м'ясо, молоко, риба, плоди і фрукти значно зменшилось, хоча й має тенденцію до зростання. Фактичні рівні споживання населенням з більшості видів продовольства були нижчими рекомендованих показників [2].

Найбільше відставання фактичного споживання від раціонального спостерігалось щодо плодів, ягід і винограду; молока і молочних продуктів; м'яса і м'ясопродуктів, риби і рибних продуктів. Водночас по деяких продовольчих групах (яйця, олія, картопля, хліб і хлібні продукти) фактичне споживання в останні роки перевищило раціональні норми. Це свідчить про незбалансованість харчових раціонів населення України, яке намагається забезпечити власні енергетичні потреби за рахунок дешевої (економічно доступної) їжі (в першу чергу, хлібопродуктів). З 2001 року простежується тенденція до зростання фактичного споживання продуктів харчування.

Незважаючи на деякі позитивні зміни рівень споживання з більшості продуктів все ще залишається нижчим від рекомендованих норм. Для порівняння розглянемо споживання тих же продуктів в Німеччині і Угорщині. Зокрема можна констатувати, що, споживання білкової їжі тваринного походження, рослинних олій і фруктів, ягід та горіхів в цих країнах перевищує українське. В Україні ж споживання останніх знаходиться нижче норми фізіологічного мінімуму. Що стосується картоплі та хлібопродуктів то в нашій країні їх споживання перевищує не тільки європейські країни, а й раціональні норми.

Якщо в Німеччині і Угорщині потреби у поживних речовинах населення забезпечуються за рахунок дорогих м'ясних і молочних продуктів, риби, овочів і фруктів, то в Україні – за рахунок дешевих картоплі та хлібопродуктів. Однією з головних причин такої ситуації є низька купівельна спроможність населення. На відміну від європейських споживачів українці на харчування витрачають переважну частину власного доходу. Фактично при відсутності дефіциту продовольства в країні рівень споживання населенням основних продуктів перебуває нижче раціональної межі.

Іншою причиною недостатнього споживання високоякісних продуктів є зниження обсягів виробництва продукції тваринництва.

В сільському господарстві в останні роки швидше розвивається рослинництво, поголів'я тварин скорочується [5].

Висновки. В цілому рівень задоволення потреб населення України в продуктах харчування є задовільним. Обсяги споживання харчових продуктів в Україні поступають відповідним показникам у розвинених країнах, однак вони вищі за мінімально встановлені норми. Головна проблема полягає в забезпеченні якісних характеристик продовольства.

Таблиця 1. Індикатори достатності споживання продуктів харчування на одну особу в Україні за період з 1990 – 2015 рр.

Продукти	Мінім. норма	Максим. норма	Роки												Німеччина 2009	Угорщина 2009
			1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015				
М'ясо і м'ясопродукти	52	80	1,31	0,75	0,64	0,75	1,00	0,98	0,98	1,08	1,04	0,98	1,69	1,46		
Молоко і молокопродукти	341	380	1,09	0,72	0,58	0,66	0,61	0,62	0,64	0,65	0,61	0,77	0,48			
Яйця, шук	231	290	1,18	0,74	0,72	1,03	1,34	1,25	1,25	1,26	1,23	1,08	1,31			
Хліб і хлібопродукти	94	101	1,5	1,36	1,44	1,31	1,18	1,16	1,15	1,15	1,09	1,17	1,31			
Картопля	96	124	1,36	1,29	1,41	1,41	1,34	1,36	1,24	1,20	1,44	0,75	0,63			
Овочі баштанні	105	161	0,98	0,92	0,97	1,15	1,37	1,45	1,35	1,30	1,53	0,88	1,17			
Плоди, ягоди, виноград	68	90	0,69	0,49	0,43	0,55	0,71	0,77	0,82	0,76	0,75	1,96	1,40			
Риба і рибні продукти	12	20	1,5	0,3	0,7	1,2	1,21	1,17	1,18	1,08	0,75	1,28	0,43			
Цукор	32	38	1,56	1,00	1,12	1,19	1,16	1,20	1,15	1,16	1,12	1,47	1,44			
Олія	8	13	1,50	1,02	1,18	1,69	1,85	1,71	1,82	1,75	1,54	2,30	2,48			

Складено за даними [2, 3, 4]

Список літератури: 1. Законопроект Верховної Ради України «Про продовольчу безпеку України» Електронний ресурс. w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34id 2. Сегеда С.А. Оцінка споживання продовольчих продуктів в Україні / А.С. Сегеда // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки. – №3(69). – 2012. Вінниця: ВНАУ. С.195-199. 3. Статистичні дані ФАО. Режим доступу: <http://faostat.fao.org/site>. 4. Інформаційний сайт Державного комітету статистики України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. 5. Митченко О.О. Оцінка рівня споживання і витрат населення на продукти харчування в Україні та світі / О.О. Митченко, О.Е. Нізаєва // Електронний ресурс: irbis-nbuv.gov.ua/.../cgiirbis_64.exe?.

УДК 621.785.019

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАМЕДЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ

Аксенова С. И., канд. техн. наук, **Сатановский Е. А.,** канд. техн. наук
(ГП «Завод имени В. А. Малышева», Харьков, Украина)

Изучен характер разрушения стали со структурой нижнего бейнита при различной скорости нагружения. Выявлена склонность к охрупчиванию при медленном приложении нагрузки. Предложен метод оптимизации термической обработки.

Ключевые слова: бейнит, замедленное разрушение.

Досліджували характер руйнування сталі зі структурою нижнього бейніту при різних швидкості навантаження. Виявлена схильність до крихкості при статичному навантаженні. Запропоновано метод оптимізації термічної обробки.

Ключові слова: бейніт, сповільнене руйнування.

The fracture character of steel with low bainite structure after loading with different speed was researched. The tendency to embrittlement under static loading was revealed. The method of heat treatment optimization was offered.

Keywords: bainete, delayed fracture.

Изотермическая закалка на бейнит является эффективным методом обеспечения высокой конструктивной прочности стали, в основном, за счет достижения высокого уровня ударной вязкости при достаточно высоких прочностных свойствах. Однако практика эксплуатации деталей из изотермически закаленных сталей свидетельствует о значительной зависимости сопротивления разрушению этого материала от вида нагружения.

В связи с этим в работе методом электронномикроскопической фрактографии изучен характер разрушения стали 38ХС, изотермически закаленной на нижний бейнит, при динамическом, статическом нагружении и при замедленном разрушении (ЗР). Выявлены элементы микрорельефа, характерные для микростроения этих трех типов изломов.

Микрофрактографические особенности ударных изломов (преобладание весьма развитых, раздробленных, часто пластинчатого строения фасеток квазискола) свидетельствует о том, что при ударном нагружении трещина, развивающаяся с большой скоростью, вынуждена преодолевать многочисленные

границы между α – и γ – фазами, присутствующими в структуре нижнего бейнита, что требует значительных затрат энергии.

Микростроение изломов ЗР (преобладание значительных по размерам весьма малоразвитых фасеток квазискола) позволяет полагать, что в структуре нижнего бейнита медленная трещина распространяется, в основном, вдоль пластинчатых составляющих (α - и γ - фазы) или по плоскостям их сопряжения.

Микростроение изломов статического изгиба (включающее элементы микрорельефа, характерные как для ударного нагружения, так и для ЗР) свидетельствует о реализации процессов ЗР при относительно медленном статическом нагружении.

Анализ характера разрушения показывает, что сталь со структурой нижнего бейнита, обладая высоким сопротивлением разрушению при динамическом способе приложения нагрузки, обнаруживает тенденцию к охрупчиванию при уменьшении скорости нагружения. Это объясняется значительной склонностью стали со структурой нижнеобейнита к ЗР.

Показано, что низкий отпуск, практически не влияя на механические характеристики при растяжении и ударную вязкость, оказывает положительное действие на хрупкую прочность, склонность к ЗР и микростроение изломов статического изгиба стали со структурой нижнего бейнита. При этом длительность отпуска должна быть значительно увеличена в сравнении со справочными данными. Полученные результаты использованы при назначении режимов термической обработки деталей из кремнистых сталей в зависимости от условий нагружения при эксплуатации.

УДК 692.435

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПЕРЕД БІТУМНИМИ ПРИ УКЛАДАННІ ПОКРІВЛІ НА ПЛОСКОМУ ДАХУ

Двойнікова О. С., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

У статті розглянуті існуючі технології впливу покрівлі в будівельних об'єктах. Показано переваги використання полімерних матеріалів при виконанні будівельних робіт

Ключові слова: покрівля, полімерні матеріали, технологія покриття.

В статье рассмотрены существующие технологии воздействия кровли в строительных объектах. Показаны преимущества использования полимерных материалов при выполнении строительных работ

Ключевые слова: кровля, полимерные материалы, технология покрытия.

The article discusses the impact of the existing roofing technologies in building projects. The advantages of polymer materials during construction works

Keywords: roofing, polymeric materials, coating technology.

На сьогоднішній день українськими будівельними підприємствами при укладанні покрівлі все ще використовуються бітумні матеріали, але існують матеріали, які мають значні переваги та вже добре себе зарекомендували. Такими матеріалами є полімерні мембрани, які з кожним роком доводять абсо-

лютну надійність, еластичність та підвищену стійкість до атмосферних і кліматичних впливів протягом усього терміну служби, який сягає 30-50 років.

Отже, розглянемо основні поняття, які пов'язані з темою дослідження.

Покрівля – це верхній водонепроникний шар, оболонка даху будівлі, яка складається з покрівельних матеріалів [1]. Покрівельні матеріали – це будівельні матеріали, які володіють водонепроникністю і задовольняють технологічні вимоги по міцності, теплостійкості, водопоглинанню, деформативності, морозостійкості, крихкості, хімічної стійкості, гнучкості і іншим характеристикам.

Бітумний покрівельний матеріал – це полотно на синтетичній основі, з нанесеним з обох боків модифікованим бітумом [2].

Полімерні мембрани – це сучасні гідроізоляційні матеріали на основі різних полімерів з додаванням пластифікаторів або без них, що дозволяє з'єднувати рулони між собою за допомогою зварювання струменем гарячого повітря [3].

Розглянемо найпоширеніші технології укладання бітумних матеріалів та полімерних мембран на плоскому даху [1; 4].

Укладання покрівлі із рулонних бітумних матеріалів відбувається у наступній послідовності:

1. Робота починається на сухому місці, очищеному від бруду, будівельного сміття і пилу.

2. Усунення деформацій і нерівностей.

3. Укладка паробар'єра.

4. Укладка теплоізолюючих плит.

5. Підготовка пристрою опор під воронки внутрішнього водостоку.

6. Плити утеплювача щільно притискають один до одного.

7. Вставка напрямних з труб.

8. Приготування розчину цементно-піщаної стяжки.

9. Викладання суміші товщиною в 3-5 см.

10. Розрівняння стяжки.

11. Технічна перерва до повного затвердіння покриття.

12. Грунтовка бітумним праймером.

13. Розкочування і примірка рулону. Рулон розкочується на 2-3 метра в напрямі від нижніх місць до підвищених з розташуванням їх перпендикулярно стоку води.

14. Укладання відбувається у два шари, яке починається від кутів даху. Включити газовий пальник і, направляючи полум'я на внутрішню клейку поверхню полотна розігріваємо до розплавлення індикаторну плівку, поступово розігріваючи і розкочуючи рулон.

В процесі виробництва покрівельних робіт забезпечується бічній нахлест суміжних полотнищ – 10 см, торцевий нахлест рулонів – 15 см. Торцеві нахлести сусідніх полотнищ покрівельного матеріалу зміщені відносно один одного на 50 см. Покрівельні матеріали укладають у два шари, так щоб верхній шар перекрив нахлест нижнього шару. Відстань між бічними стиками покрівельних полотнищ в суміжних шарах складає 30 см. При прогріванні матеріалу бітумне в'язуче повинно випливати з-під бічної кромки матеріалу приблизно на 3-15 мм.

15. Накочення полотнища катком.

Технологія укладання покрівлі із полімерних мембран значно простіша та швидша, ніж з бітумних матеріалів. Найпоширеніша технологія укладання покрівлі з полімерних мембран відбувається у наступній послідовності:

1. Робота починається на місці, яке очищене від бруду, будівельного сміття і пилу.
2. Установка водовідведення, необхідного для відводу води з покрівлі.
3. Укладка пароізоляційного шару з напуском полотнищ у 10 см.
4. Поверх пароізоляції монтується верхній та нижній шар утеплювача із мінеральної вати.
5. На отриманій багатошаровій конструкції закріплюється полотно мембрани за допомогою металевої круглої шайби. Шви і стики проплавляються спеціальним зварювальним апаратом, що подає під напором потік гарячого повітря.

На основі проаналізованої інформації [1; 3; 4], порівнюємо полімерні матеріали з бітумними (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння полімерних мембран з бітумними матеріалами

	Бітумні матеріали	Полімерні матеріали
	Г4 (сильно горючі) – велика ймовірність загоряння при розігріві бітумної покрівлі.	ПВХ-мембрани – Г1 (слабко горючі), ТПО-мембрани – Г2 (помірно горючі).
	Вага матеріалу: 3,5-6 кг/м ² .	Вага матеріалу: 1-2 кг/м ² .
	При монтажі застосовується відкритий вогонь.	При монтажі не застосовується відкритий вогонь.
	Невелика площа рулону.	Велика площа рулону.
	Водопоглинання становить 1-2,5% (при замерзанні-розмерзанні виникають мікротріщини).	Водонепроникний матеріал.
	Монтаж обмежений погодними умовами.	Монтаж до -10 °С.
	Багатошаровість, вимагає обробки основи праймером (збільшення тривалості виконання робіт).	Монтаж виконується в один шар (скорочення терміну виконання робіт).
	Повне приклеювання (схильні до дії вібрацій).	Часткове кріплення до основи (не боїться вібрацій).
	Абсолютний паробар'єр (скупчення конденсату).	Паропроникний покрівельний матеріал.
0	Містять велику кількість пластифікаторів (швидше старіють).	ПВХ-мембрана містить малу кількість пластифікаторів, ТПО-мембрана не містить зовсім.
	Строк служби: до 15 років.	Строк служби: 30-50 років.

Отже, проаналізувавши технологію укладання покрівлі з використанням бітумних матеріалів та полімерних мембран, можна зробити висновок, що процес укладання покрівлі із полімерних мембран значно простіший, що дозволить покрити більшу площу даху, ніж можна було з використанням бітумних рулонних матеріалів. Також вага полімерних мембран значно нижча ніж вага бітумних матеріалів, що знизить навантаження на дах. Процес укладання покрівлі стає безпечнішим, оскільки не використовується відкритий вогонь. Полімерні

мембрани мають велику площу рулону, що дозволить заощадити час при їх укладанні. Водонепроникність полімерних мембран є дуже корисною властивістю, так як у період дощів і снігопадів, вода не буде потрапляти на нижчі шари покрівлі та не стане проблемою для жителів верхніх поверхів будинку. Окрім водонепроникності полімерні мембрани володіють паропроникністю, що дозволить уникнути скупчення конденсату. Монтаж полімерних мембран не обмежений погодними умовами та може здійснюватися при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дасть змогу закінчити будівництво при низьких температурах, а не переносити його на інший час. Також монтаж полімерних мембран виконується в один шар, що скорочує вартість та терміни укладання робіт. Монтаж покрівлі із бітумних матеріалів зазвичай виконується у два шари, що значно довше, ніж монтаж полімерних мембран. Строк служби полімерних мембран сягає 30-50 років, коли строк служби бітумних матеріалів до 15 років. Таким чином, використання полімерних мембран дозволить зробити процес укладання покрівлі більш швидшим, легшим, якіснішим, безпечнішим та надійним.

Список літератури: 1. *Панасюк М. В.* Кровельные материалы. Практическое руководство. Характеристики и технологии монтажа новейших гидроизоляционных, теплоизоляционных, пароизоляционных материалов / *М. В. Панасюк.* – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 448 с. 2. Плоская крыша [Електронний ресурс]. 3. Полимерная кровельная мембрана [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.petro-domus.ru/gidroizolyatsionnaya-membrana-polimernaya-krovelnaya-membrana.html> 4. *Плотникова Т.* Крыши и кровли своими руками / *Т. Плотникова В. Крейс.* – М.: Эксмо, 2013. – 192 с.

Науковий керівник – канд. техн. наук, проф. Крюк А. Г.

УДК: 62-832

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА ПТВМ – 100

Павлова Т.Ю., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Усовершенствована конструкция водонагревательного котла с использованием математическое моделирование.

Ключевые слова: *конструкция котла, математическое моделирование, экономический эффект.*

Удосконалено конструкція водогрійного котла з використанням математичне моделювання.

Ключові слова: *конструкція котла, математичне моделювання, економічний ефект.*

Improved design hot water boiler using mathematical modeling.

Keywords: *boiler design, mathematical modeling, economic effect.*

Котельне виробництво орієнтоване на сектор промислової енергетики бере початок з 1942 року з побудовою в м. Бійську котельного заводу. Вже до кінця 40-х років минулого століття дослідження і конструкторські розробки Бійського котельного заводу (БІКЗ), призвели до створення конструкції двобарабанних водотрубних котлів (ДКВ).

В умовах ринкової економіки БІКЗ інтенсивно виводив на серійне виробництво нову номенклатуру виробів, що допомогло вижити в жорсткій конкурентній боротьбі: 1992 г. - серійне освоєння водогрійних котельних установок типу КЕВ та ДІВ, ДКВР, КВ.

Величезне значення для досягнення такого рівня результатів мала підготовка інженерно-конструкторських кадрів Бійського котельного заводу - В.Ф. Дерк, А.А. Доріжки, В.І. Савченко, Г.А. Усольцев, Ю.А. Окремі, А.М. Вічкапов.

За освітлюваний період конструкторами заводу та працівниками БІКЗ зареєстровано понад 280 винаходів, а також більш 20000 раціоналізаторських пропозицій і технічних удосконалень, з яких від 20 до 35% впроваджено в серійне виробництво і використовуються в даний час.

Котли БІКЗ є найбільш поширеними котлами в світовому котлобудуванні. Всі типи парових котлів виготовлялися в країні для промислової енергетики - ШБ, ДКВ, ДКВР, КЕ, ДЕ, а також водогрійних котлів КЕВ, ДІВ, ПТВ, ПТВМ, КВ-ТС, КВ-ГМ, ПТВМ освоювалися в першу чергу на БІКЗ [3].

Серед перелічених вище котлів велику увагу у статті буде розглянуто удосконаленню конструкції водогрійного котла ПТВМ – 100 (рис.1). Пікові теплофікаційні водогрійні котли типу ПТВМ-100, що встановлюються в якості джерела тепlopостачання, призначені для покриття пікових і основних навантажень в системах централізованого тепlopостачання і являють собою прямоточні агрегати, що підігрівають безпосередньо воду теплових мереж. При роботі котла циркуляція води в ньому здійснюється за 2-х ходовий схемі.

Таблиця 1

Продуктивність котла ПТВМ-100

Теплова продуктивність	100 Гкал / год (116,4 МДж/с)
Робочий тиск	до 25 кгс / см ² (2,5 МПа)
Максимальна температура води на виході з котла	150 °С
Номінальна витрата води при піковому режимі	2140 т / год (594 кг/с)
Мінімальні витрати	1500. (417 кг/с)

Температура відхідних газів при максимальному навантаженні:

- на мазуті - 230 °С;
- на газі - 185 °С;
- ККД котла при 40% навантаженні 92,6% і 92,1% відповідно при роботі на мазуті і газі.

Котел працює стійко в діапазоні навантажень від 15 до 100% [1].

Серед основних недоліків котла можна виділити наступні:

- відносно невелика камера згоряння з високим коефіцієнтом об'ємної теплового навантаження;
- високі адіабатні температури в камері згоряння, що обумовлюють підвищену концентрацію NO_x у вихідних газах (при використанні природного газу -

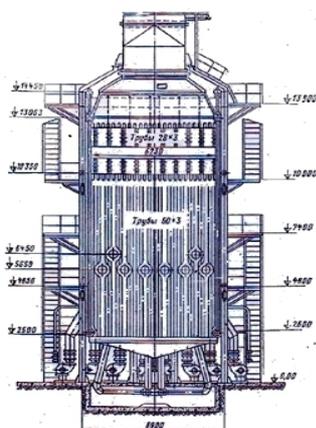


Рис.1 – Конструкція котла ПТВМ - 100

500-600, мазуту - 800-900 мг / м³);

- неповне згоряння палива при спалюванні мазуту;
- висока температура продуктів згоряння на виході з камери згоряння, яка обумовить перегрів труб першого конвективного пакету;
- недостатня регулювання співвідношення «повітря-паливо»;
- низька продуктивність та ККД;
- низька швидкість води на елементах високого тиску, що веде до їх перегрівання;
- ненадійне конструкційну виконання блокування і захисту.

Для аналізу роботи котла і розробки плану його реконструкції було застосовано математичне (комп'ютерне) моделювання з використанням обчислювальної гідродинаміки. Мета досліджень – розрахунок гідродинамічних параметрів, тиску, температури в обраній геометрії. Варто зазначити, що застосування обчислювальної гідродинаміки значно зменшує потребу в пробних випробуваннях і робить можливим оптимізацію і стимуляцію різних процесів. Отже, економляться значні кошти і, що важливо, час.

Сучасна обчислювальна гідродинаміка займається розробкою таких актуальних напрямків, як розрахунок рухів в'язкої рідини, чисельне дослідження течій газу з фізико-хімічними перетвореннями, вивчення поширення ударних хвиль в різних середовищах, рішення газодинамічних завдань при наявності випромінювання.

Найбільш важливий об'єкт в дослідженні обчислювальної гідродинаміки - застосування пальникової техніки для спалювання рідкого і газоподібного палива. З великою точністю можна розрахувати внутрішній реактивний турбулентний потік у великому казані, що робить можливим докладний порівняння різних варіантів установки пальників.

При створенні пальників великих потужностей роль методу обчислювальної гідродинаміки значно зростає через неможливість проведення випробувань в реальному обсязі з використанням шкідливо-пахущих газів. Проведення досліджень у виробничих приміщеннях замовника також є важким завданням. У цих випадках моделювання практично незамінне.

На підставі результатів математичного моделювання розроблено докладний конструктивне рішення для кожної специфічної проблеми. Так, наприклад, проблему так званої холодної воронки (непрогрітій області Б нижній частині котла) вирішили виключити за рахунок правильного розподілу конвективних потоків при заміні пальників [2].

У конструкцію котла додані додаткові конвективні поверхні (пакети). Крім того, кут нахилу пальників був змінений - прийнятий як 10 ° вниз по горизонталі. Результати моделювання наведені на рис. 2 та рис. 3. При заміні були використані низькоемісійні мазутно-газові пальники Lenox GRT фірми Oilon з сучасною автоматикою на базі мікропроцесорних контролерів. Принцип роботи пальників (рис. 4) заснований на фазовому спалюванні палива, яке подається в різні зони факела. Повітря для горіння розподіляється в різних частинах повітряного короба і направляється на факел фазованого, в кілька етапів. Таким чином, досягається регульоване змішування палива і повітря, низька темпера-

тура горіння і мінімальні викиди шкідливих речовин в атмосферу. За допомогою пальника Lenox реалізована також циркуляція димових газів. При реконструкції котла застосована автоматика BMS (Burner Management System), що забезпечує безпеку, контроль та оптимізацію горіння.

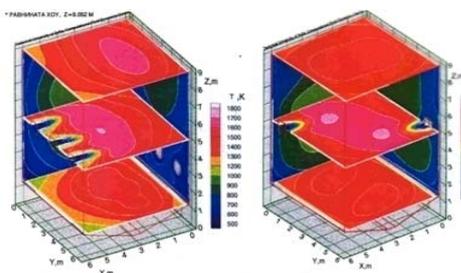


Рис.2 – Розподіл температур у внутрішньому просторі котла до та після реконструкції

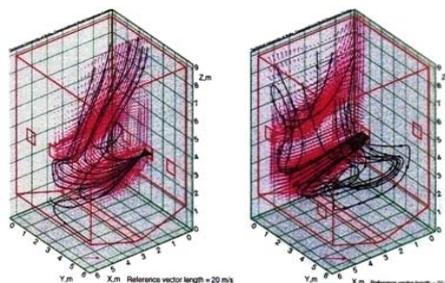


Рис. 3 – Розподіл конвективних потоків до та після реконструкції



Рис.4 – Вигляд пальника Lenox GRT

- збільшення продуктивності (на мазуті – до 122, на природному газі – до 128ГКал / ч).

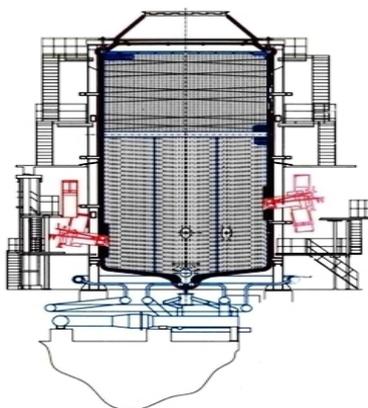


Рис.5 – Котел ПТВМ-100 після реконструкції

В результаті застосування нових пристроїв, а також внесення змін до конструкції котла (рис. 5) кількість пальників було скорочено з 16 до 6 шт. В цілому, в результаті реконструкції котла ПТВМ-100, вдалося домогтися результатів:

- збільшення ККД котла на 9–10% (економія пального – 5168 т мазуту або 6,25 млн м газу за один сезон);
- зменшення ремонтних годин приблизно на 30%;

До інших достоїнств реконструкції котла ПТВМ - 100 з використанням сучасних пальникових пристроїв можна віднести:

- низькі капіталовкладення (приблизно 30% вартості нового котла);
- короткий (1,5 року) час окупності вкладених коштів за рахунок зменшення експлуатаційних і ремонтних витрат, енергоефективності;
- збільшення періоду безремонтної експлуатації трубної системи котла (труби старої системи змінюються кожні три роки, нова ж гарантує термін експлуатації від восьми до десяти років).

Список літератури: 1. Типовая энергетическая характеристика водогрейного котла ПТВМ-100 при сжигании природного газа: ТХ34-70-014-85. – М.: Союзтехэнерго, 1987. **2.** Байрашевский, Б. А. Эффективность каскадной схемы питания водогрейных котлов / Б. А. Байрашевский // Электрические станции. – 1990. **3.** Тарасюк В.М. Эксплуатация котлов: практ. пособие для оператора котельной / В.М. Тарасюк. – 2008. – 272 с.

Науковий керівник – канд. техн. наук, проф. Крюк А.Г.

3. БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 621.923

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Новиков Ф. В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Показана ефективність применения екологічно безпечних технологій шліфування і електроерозійної правки алмазних кругів на металічних зв'язках при обробці матеріалів підвищеної твердості

Ключевые слова: шліфування, електроерозійна правка, алмазний круг на металічеській зв'язці, екологічно безпечні технології, порошкова металургія

Показано ефективність застосування екологічно безпечних технологій шліфування та електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках при обробці матеріалів підвищеної твердості

Ключові слова: шліфування, електроерозійна правка, алмазний круг на металевій зв'язці, екологічно безпечні технології, порошкова металургія

The efficiency of the use of environmentally friendly technologies of grinding and EDM dressing of diamond wheels on the metal ligaments in the processing of high hardness materials

Keywords: grinding, EDM dressing, diamond grinding wheel Metal bond, environmentally sound technologies, powder metallurgy

В 1960-е годы возникла острая проблема эффективного использования алмазных кругов на металлических связках при обработке высокотвердых металлических и неметаллических материалов, поскольку, обладая высокой работоспособностью, эти круги быстро затуплялись, засаливались и теряли режущую способность. Одним из рациональных решений стало применение электрохимической правки алмазного круга для непрерывного восстановления в процессе шлифования его режущей способности. Однако, использование сильных электролитов в процессе электрохимической правки круга ограничивало ее применение, так как это, во-первых, вызывало коррозию металлорежущего оборудования и преждевременный выход его из строя, во-вторых, отрицательно сказывалось на здоровье рабочего. Так, при обработке в зоне шлифования образуется туман из электролита (он содержит вредные составляющие для организма человека), который необходимо удалять вытяжными устройствами.

В ряде случаев применяется химическое травление режущей поверхности алмазного круга на металлической связке. Для этого алмазный круг на металлической связке М2-01 помещают в концентрированную кислоту (в 42%-й раствор азотной кислоты) и выдерживают определенное время. После обработки для предохранения связки от коррозии и нейтрализации процесса травления алмазный круг необходимо промыть. Этот метод достаточно эффективен, не

требует сложного оборудования и приспособлений, кроме вентиляционных устройств, однако не является экологически безопасным методом.

Поэтому вместо электрохимической правки и химического травления круга предложено применять электроэрозионную правку круга, основанную на введении в зону резания или автономно к кругу дополнительной электрической энергии в виде электрических разрядов [1]. Этот метод правки является экологически более безопасным и чистым, так как не требует применения вредных электролитов, процесс протекает с использованием обычной технической воды, которая не вызывает отрицательного воздействия на рабочего как это имеет место при электрохимической правке. Кроме того, электроэрозионная правка алмазного круга обеспечивает более высокие технологические показатели процесса шлифования: производительность и качество обработки.

Сущность электроэрозионной правки алмазного круга при использовании высокочастотного генератора электрических импульсов представляется следующим образом: при сближении правящего электрода с алмазосодержащим слоем круга и подачей в зазор СОТС (используется техническая вода с антикоррозионной добавкой, 1,5 – 3 %-й содовый раствор) по кратчайшим расстояниям между токопроводящими участками металлической связки круга и электрода при наличии потенциала происходят разряды. Термическое воздействие импульсного разряда приводит к эрозии участков связки и образованию лунок. Продукты эрозии связки в виде застывших частиц вымываются из зоны обработки межэлектродной среды. В результате суммарного эрозионного воздействия электрических разрядов удаляется определенное количество связки, что приводит к обнажению зерен и восстановлению режущей способности алмазного круга на металлической связке [2].

Особенно значительный эффект от применения электроэрозионной правки алмазных кругов формы 1А1 на металлической связке был достигнут на операциях огранки природных алмазов в бриллианты. Традиционно эти операции производятся в условиях непрерывной электрохимической правки алмазного круга. Для этого вращающийся алмазный круг на металлической связке устанавливается в ванночку с электролитом, в результате чего происходит восстановление его режущей способности за счет электрохимического растворения металлической связки и постоянного обновления режущего контура круга. Однако, такой метод правки алмазного круга, во-первых, ограничивает возможности увеличения скорости круга (т.е. увеличения производительности обработки) в связи с разбрызгиванием электролита, а во-вторых, приводит к загрязнению рабочего места химически активными веществами и возможному заболеванию рабочего. Поэтому переход от электрохимической правки алмазного круга к электроэрозионной правке открыл новые технологические возможности операций огранки природных алмазов в бриллианты, состоящие в исключении вредного воздействия электролита на здоровье рабочего, а также в повышении качества и производительности обработки.

Кроме алмазных кругов формы 1А1 на металлических связках, изготовленных методом порошковой металлургии, на этих операциях используются алмазные круги, изготовленные электрогальваническим методом. Как известно,

этот метод является еще менее экологически «чистым» методом по сравнению с электрохимической правкой круга, так как приходится использовать значительные объемы вредных для здоровья рабочих электролитов. Поэтому, для исключения алмазных кругов, изготовленных электрогальваническим методом, из технологического цикла обработки природных алмазов в бриллианты, предложено использовать специальные ограночные алмазные круги на металлических связках (например, связке МЗ-04 с характеристиками 6А2 300х60х5х50 АС6 10/7 4), изготовленные методом порошковой металлургии.

При обработке ограночный круг базируется на оправке-оси и закрепляется механическим способом (рис. 1 [3]). Для нормального протекания процесса обработки биения режущей поверхности ограночного круга не должно превышать 0,01 мм. Поэтому ограночный круг обязательно проходит динамическую балансировку, т.к. вибрации существенно влияют на величину биения его режущей поверхности (диаметр круга - 300 мм, а частота вращения превышает 3000 об./мин).

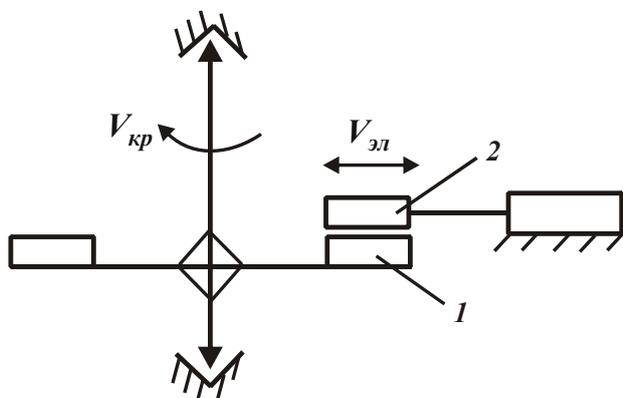


Рис. 1 – Схема электроэрозионной правки ограночного алмазного круга:
1 – алмазоносный слой круга;
2 – электрод

Практикой установлено, что устранить механическим способом увеличенное биение круга не приводит к положительным результатам. Несмотря на то, что происходит снятие алмазоносного слоя, профиль режущей поверхности фактически не изменяется (остается исходным) и биение не устраняется. Поэтому выполнять огранку природных алмазов этим кругом невозможно. В связи с этим была предложена идея устранения биения режущей поверхности круга с использованием метода электроэрозионной правки.

Для этого было изготовлено специальное оборудование. Чтобы исключить ряд погрешностей при электроэрозионной правке круга, его обработку производили на ограночном станке, где размещали все необходимые элементы правки. Важным моментом данного решения стало то, что ограночный круг правился в собранном виде (на оправке-оси). Правящий электрод был изготовлен из графитового материала и имел пазы для попадания охлаждающей жидкости в зону исправления. Электроду сообщали возвратно-поступательные движения на всю ширину алмазоносного слоя круга (рис. 1). Направляющие электрода изготавливались из закаленной стали и соединялись между собой с помощью шариков. Такая конструкция исключала вибрации электрода и уменьшала погрешности при выравнивании режущей поверхности круга. Возвратно-поступательные движения электрода осуществлялись от электродвигателя с редуктором с помощью кривошипно-шатунного механизма. Величину движения электрода регулировали увеличением или уменьшением штанги шатуна. Электродвигатель с редуктором имел небольшие габариты и легко устанавливался на приспособлении. Все устройство крепилось на столе станка.

Врезная подача графитового электрода на алмазонасыщенный слой круга осуществлялась с помощью пары "винт-гайка" по штифтовым направляющим. Длина этого перемещения составляла 1 ... 4 мм. С помощью винта можно вводить графитовый электрод в контакт с режущей поверхностью ограночного круга. Процесс электроэрозионной правки протекал при обильном охлаждении зоны правки с использованием технической воды. Принудительная подача жидкости осуществлялась от насосной станции (с использованием водяной помпы от точного станка модели 3Д642Е). Для сбора отработанной жидкости под вращающимся ограночным кругом установлен специальный поддон, откуда вода поступает обратно в бачок насосной станции. Для исключения разбрызгивания жидкости при вращении круга используется защитный кожух. В качестве источника технологического тока электроэрозионной правки применялся специальный импульсный генератор.

Электроэрозионная правка ограночных алмазных кругов с зернистостью 5 ... 10 мкм имеет свои особенности, связанные, прежде всего, с поддержанием необходимого зазора между электродом и правящей поверхностью круга. Решить эту задачу удалось путем использования электрода из графита и обильной подачей охлаждающей жидкости непосредственно в зону правки.

Электроэрозионная правка характеризуется переносом снятого материала связки алмазного круга на правящий электрод (на круг подается положительный заряд, а на электрод - отрицательный), который в застывшем виде накапливается в пазах электрода. Наступает такой момент, когда в отдельных местах он перемикает зазор между электродом и связкой круга. В результате резко увеличивается сила тока правки и на поверхности круга образуются борозды (за счет более интенсивного съема материала). При дальнейшей правке на режущей поверхности круга образуются значительные неровности. Описанный выше случай относится к правке электродом, изготовленным из металла. Устранить застывший на электроде материал связки сложно из-за небольшой величины выступания зерен. Данная задача успешно решается при использовании электрода из графита. Перенесенный на электрод материал связки легко отрывается от графитового электрода, т.к. температуры плавления графита и материала связки разные и между ними не происходит прочного сцепления.

Практика показывает, что при обработке природных алмазов все же эффективнее применять ограночные круги, изготовленные электрогальваническим методом. Это обусловлено меньшими затратами дорогостоящего алмазного порошка. Вместе с тем, изготовление ограночных кругов электрогальваническим методом является экологически вредным производством и поэтому ограничивает применение. Как отмечалось выше, вместо этих кругов следует применять специальные ограночные алмазные круги на металлических связках (связке МЗ-04 с характеристиками 6А2 300х60х5х50 АС6 10/7 4), изготовленные методом порошковой металлургии, с их периодической электроэрозионной правкой. Для этого определены оптимальные условия электроэрозионной правки ограночных алмазных кругов, обеспечивающие биение их режущей поверхности в пределах 0,01 мм, чего другими методами не достигалось [4]. Это позволило произвести эффективную замену алмазных кругов, изготовленных элект-

трогальваническим методом, и таким образом исключить их экологически вредное производство на ПО «Кристалл».

Список литературы: 1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.03.01 "Процессы механической обработки, станки и инструменты" / Н.К. Беззубенко. – Харьков, 1995. – 56 с. 2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Новиков Григорий Васильевич. – Харьков, 1989. – 210 с. 3. Новиков Г.В. Прогрессивные технологии алмазно-абразивной обработки природных алмазов в бриллианты / Г.В. Новиков // Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2011. – № 40. – С. 72-90. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов". – 802 с.

УДК 621.039.57

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИТ В АДсорбЦИОННЫХ ОСУШИТЕЛЯХ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Добротворский С.С., докт. техн. наук, проф.,
Добровольская Л.Г., канд. техн. наук, доц., Алексенко Б.А., аспирант
(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Проведено практичне експериментальне дослідження впливу інтенсивності мікрохвильового випромінювання на процес сушіння адсорбенту в стадії регенерації. Результат дослідження показав доцільність і перспективність застосування СВЧ-випромінювання в процесі регенерації молекулярних сит в адсорбційних осушувачах стислого повітря.

Ключевые слова: адсорбент, осушитель, сжатый воздух, влагосодержание, адсорбция, регенерация.

Проведене практичне експериментальне дослідження впливу інтенсивності мікрохвильового випромінювання на процес сушіння адсорбенту в стадії регенерації. Результат дослідження показав доцільність і перспективність застосування СВЧ-випромінювання в процесі регенерації молекулярних сит в адсорбційних осушувачах стислого повітря.

Ключові слова: адсорбент, осушувач, стисле повітря, вологість, адсорбція, регенерація.

A practical experimental study of the influence of the intensity of exposure to microwave radiation in the drying process of the adsorbent in the regeneration phase. The result of the study showed the feasibility of and the promising application of microwave radiation in the process of regeneration of the molecular sieve adsorption compressed air dryers.

Keywords: adsorbent, desiccant, dryer, compressed air, moisture, adsorption, regeneration.

Доклад посвящен вопросам совершенствования промышленных адсорбционных осушителей сжатого воздуха.

Группой исследователей под руководством доктора технических наук, профессора Добротворского С.С. проводится работа теоретического и экспери-

ментального характера, имеющая целью изучение процессов, происходящих в адсорбционных осушителях, а также определение возможности и целесообразности применения альтернативных видов энергии для улучшения характеристик адсорберов, повышения их потребительских характеристик и конкурентоспособности на рынке Украины.

Получение глубокой осушки с использованием сепараторов, фильтров, коагуляторов и охладителей практически невозможно. Этим вызвана необходимость применения в промышленности оборудования, адсорбирующего влагу из сжатого воздуха молекулярными ситами. При этом следует констатировать, что эффективность адсорберов по удалению влаги в абсолютных числах минимальна. Это связано с тем, что адсорбционный осушитель является оборудованием, использующим дополнительную энергию, основная часть которой потребляется в процессе десорбции из адсорбента влаги, накопленной во время рабочего цикла, и, таким образом, основное направление повышения эффективности адсорбционных осушителей видится в снижении энергопотребления именно указанного процесса.

Практическое решение данной задачи происходит путем внедрения технологии нагревной регенерации адсорбента. Повышение эффективности процесса горячей регенерации, как правило, происходит за счет уменьшения непроизводительных затрат тепла и применения систем рекуперации тепловой энергии. При всей нужности и полезности указанных мер, можно все же отметить, что потенциал по повышению энергоэффективности и надежности оборудования они не исчерпывают, в связи с чем, возникает интерес к применению альтернативных способов десорбции, в частности, использования микроволнового излучения, воздействующего непосредственно на молекулы воды в адсорбирующем веществе.

Основным направлением исследовательской работы является проведение практического эксперимента, направленного на выявление зависимости интенсивности процесса десорбции от интенсивности воздействия на гранулы адсорбента микроволнового излучения. В ходе проводимого исследования протекание процесса десорбции оценивалось по такому параметру как остаточное влагосодержание в слое подопытного вещества после воздействия микроволнового излучения. Решая задачу оценки остаточного влагосодержания молекулярного сита в процессе эксперимента, авторами было принято решение об использовании силикагеля-индикатора, позволяющего визуально оценить протекание процесса десорбции во всём объеме испытуемого вещества, с некоторым ущербом точности определения влажности. Так, в качестве испытуемого вещества был применен силикагель КСШГ индикаторный, ГОСТ 8984-75, позволяющий визуально контролировать процесс десорбции в режиме реального времени. Содержание влаги в слое в конкретный момент времени оценивалось и фиксировалось по изменению окраса индикаторного силикагеля путем сопоставления его цвета с цветом, указанным в оценочной цветовой шкале. Мощность микроволнового излучения в процессе эксперимента изменялась в пределах 20 ... 100 %, от максимальной, что составляет 180 ... 900 Вт по методу измерения выходной мощности МЭК-705.

В результате проведенного эксперимента опытно подтверждена возможность и целесообразность использования микроволнового излучения в процессе десорбции влаги с поверхностного слоя молекулярных сит. Была прослежена зависимость интенсивности протекания процесса десорбции от времени воздействия и уровня мощности воздействующего на адсорбент микроволнового излучения. В ходе изучения зависимости влияния мощности воздействующего микроволнового излучения на время десорбции адсорбента до уровня влагосодержания не менее 10 % по визуальной оценке в соответствии с оценочной цветовой шкалой, была прослежена прямая линейная зависимость времени сушки адсорбента от уровня мощности микроволнового излучения, воздействующего на испытуемое вещество.

Проведенный эксперимент практически доказал возможность достижения поставленной цели путем внесения дополнительных видов энергии на этапе регенерации, и, в частности, путем использования энергии микроволнового излучения в качестве основной. Проведенная работа открывает перспективу для дальнейших исследований воздействия микроволнового излучения на процесс десорбции молекулярных сит в условиях, максимально приближенных к практическим, и к созданию действующего инновационного образца промышленного оборудования.

УДК 621.316.9

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОШАГОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗРЯДОМ ДЛИННОЙ ИСКРЫ

Петков А.А., докт. техн. наук, ст. науч. сотрудник
(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

В работе обсуждается проблема определения адекватности статистической модели, которая описывает поражение объектов длинной искрой. Показана необходимость дополнительных исследований по выбору методов, которые обеспечивают проверку согласия результатов моделирования и экспериментального распределения точек поражения плоскости.

Ключевые слова: статистическая модель, длинная искра, критерий согласия.

У роботі обговорюється проблема визначення адекватності статистичної моделі, яка описує поразку об'єктів довгою іскрою. Показана необхідність додаткових досліджень по вибору методів, які забезпечують перевірку згоди результатів моделювання і експериментального розподілу точок поразки площині.

Ключові слова: статистична модель, довга іскра, критерій згоди.

The paper discusses the problem of determining the adequacy of the statistical model, which describes the defeat of objects using long sparks. It has been shown that more research is needed on the choice of methods that provide verification agreement of simulation results and experimental plane distribution points defeat.

Keywords: statistical model, long spark, consent criterion.

В настоящее время значительное внимание уделяется защите различных объектов от прямого поражения молнией, что отражено в ряде национальных и

международных нормативных документов. Однако следует отметить неоднозначность подходов к вопросам молниезащиты в различных документах. Последнее обстоятельство свидетельствует о необходимости совершенствования моделей поражения молнией различных объектов, так как на основании этих моделей формируются требования к молниезащите. Одной из таких моделей является многошаговая модель поражения объектов длинной искрой, имитирующей молнию, предложенная в [1, 2]. В ее основу положено случайное ступенчатое (шаговое) движение длинной искры, которая развивается с высоковольтного электрода в направлении плоскости (рис. 1) или соосного с высоковольтным электродом объекта-стержня (рис. 2).

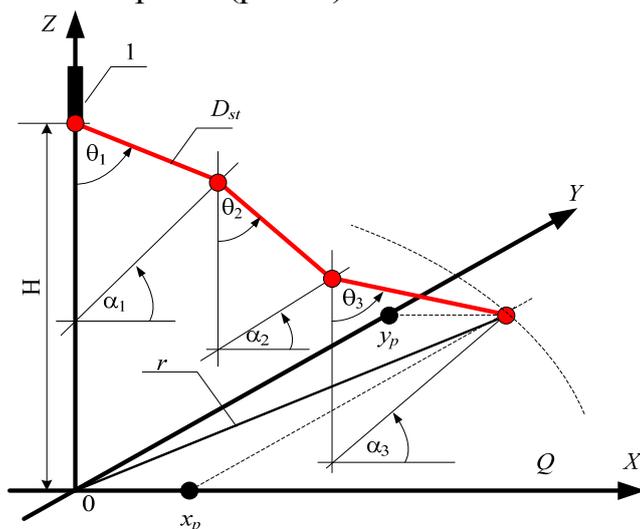


Рис.1 – Геометрическая модель поражения плоскости

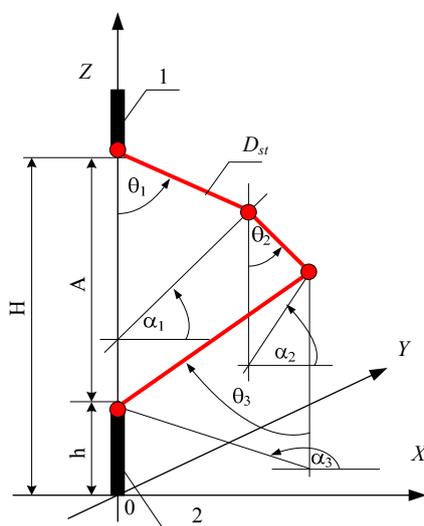


Рис. 2 – Геометрическая модель поражения объекта-стержня

На рисунках приведена геометрическая интерпретация варианта поражения объектов длинной искрой на третьем шаге и введены следующие обозначения: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – углы движения между вертикальной осью и направлением движения искры на 1, 2 и 3 шаге; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы ориентировки искры в горизонтальной плоскости на 1, 2 и 3 шаге; H – высота подвеса высоковольтного электрода 1; h – высота объекта-стержня 2; A – расстояние между высоковольтным

электродом и объектом-стержнем; x_p, y_p – координаты точки поражения в плоскости Q . В модели предполагается, что каждая ступень (шаг) движения представляет собой отрезок прямой линии, а вероятность выбора направления движения обратно пропорциональна расстоянию от точки начала движения на данном шаге до точки поражения объекта (измеряемого по этой прямой), в степени m , т.е. $p(\theta, \alpha) \sim 1/D^m$, где $m > 1$.

Адекватность модели в нашем случае может быть подтверждена совпадением результатов моделирования с экспериментальными данными. Однако отсутствие необходимого количества реальных данных по поражению объектов молнией вынуждает использовать результаты экспериментов, проводимых на физических моделях. Эксперименты такого рода, в силу значительных затрат, выполняются при ограниченном количестве опытов (обычно 50 – 100 разрядов длинной искры). Это, учитывая вероятностный характер разрядов молнии, требует для доказательства адекватности модели применения специальных статистических методов.

Поражение плоскости Q разрядом длинной искры (рис. 1) характеризуется неким распределением точек поражения, например [3, 4]. Адекватность модели может быть подтверждена совпадением экспериментальной функции распределения точек поражения плоскости – $F_e(r)$ и функции распределения точек поражения, полученной при моделировании – $F_m(r)$, где r – расстояние от оси высоковольтного электрода до точки поражения плоскости. В качестве меры совпадения результатов моделирования и экспериментального распределения может быть использован критерий Колмогорова [5]. Причем результаты моделирования принимаются в качестве теоретического распределения точек поражения плоскости.

Поражение объекта-стержня (рис. 2) характеризуется вероятностью поражения p . Учитывая, что экспериментальные данные получают при ограниченном количестве опытов и при увеличении их количества наблюдаемые значения вероятности поражения объекта-стержня p^* могут измениться, для подтверждения адекватности модели было использовано условие попадания вероятности поражения объекта-стержня при моделировании p_m в доверительный интервал (p_1, p_2) , границы которого определяются исходя из количества экспериментальных данных n и значения вероятности поражения объекта-стержня наблюдаемого в эксперименте – p^* [6].

Как функция распределения точек поражения, полученная при моделировании – $F_m(r)$, так и вероятность поражения стержня при моделировании p_m зависят от двух вариативных параметров предложенной модели: показателя степени m и коэффициента шага движения $K_{st} = D_{st} / H$ изменяя которые, мы можем выбрать оптимальный вариант при моделировании. Оптимальным будем считать вариант соотношения величин параметров модели m и K_{st} , при которых выполняются следующие условия:

- для функции распределения точек поражения плоскости [5]

$$d_{\max} = \max |F_e(r) - F_m(r)| \leq k_{n,\alpha}, \quad (0 \leq r < \infty), \quad (1)$$

где $k_{n,\alpha}$ – критическое значение критерия при количестве экспериментальных данных n и уровне значимости α ;

- для вероятности поражения стержня

$$p_1 \leq p_m < p_2, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 – соответственно нижняя и верхняя граница доверительного интервала, определенные исходя из наблюдаемого значения вероятности поражения в эксперименте – p^* [6].

В [1, 2] рассмотрено отдельное моделирование поражения плоскости и объекта-стержня, соосного с высоковольтным электродом (отдельное использование условий (1) и (2)). Эти два частных случая моделирования высоковольтных испытаний являются составляющими решения важной практической задачи – определения зоны защиты стержневого молниеотвода, которая включает ряд последовательно выполняемых высоковольтных испытаний. Следующей составляющей указанной задачи является определение зоны защиты на уровне грунта. При экспериментальных исследованиях в этом случае используется геометрическая модель, отличающаяся от модели, показанной на рис. 2, тем, что ось высоковольтного электрода смещена в горизонтальной плоскости относительно оси электрода-объекта. Данный вариант испытаний при моделировании требует совместного использования условий (1) и (2). Однако в этом случае функция распределения точек поражения не может считаться осесимметричной, так как зависит от расстояния точек поражения от оси стержня-объекта и от направления смещения оси высоковольтного электрода на плоскости. Данное обстоятельство (наличие двух случайных параметров в распределении точек поражения) не позволяет непосредственно использовать критерии согласия распределений одной случайной величины, и требует дополнительных исследований по выбору методов проверки совпадения результатов моделирования и экспериментального распределения точек поражения плоскости.

Список литературы: 1. *Петков А.А.* Моделирование поражения плоскости разрядом длинной искры с использованием многошаговой модели / *А.А. Петков* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2015. – №51. – С. 78 – 82. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/19122> 2. *Петков А.А.* Моделирование поражения стержня разрядом длинной искры с использованием многошаговой модели / *А.А. Петков* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2016. – №14. – С. 73 – 77. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22081> 3. Экспериментальные исследования поражения заземленной плоскости и размещенных на ней объектов электрическим разрядом в длинном промежутке / [*Баранов М.И., Доценко В.И., Зиньковский В.М.* и др.] // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2013. – №27. – С. 11 – 20. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/3817> 4. *Колушико Г.М.* Влияние конфигурации системы электродов на распределение точек поражения плоскости длинной искрой / [*Г.М. Колушико, П.Н. Мельников, О.С. Недзельский* и др.] // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2013. – №60. – С. 57 – 70. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/5668> 5. *Hauschild V.* Statistik für Elektrotechniker. Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik / *V. Hauschild, V. Mosch.* – Berlin. : VEB Verlag Technik, 1984. – 312 s. 6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / *Е.С. Вентцель* – М. : Высш. шк., 2002. – 575 с.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У ФЕРОМАГНІТНІЙ КОНСТРУКЦІЇ – ЗАПОРУКА ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЇЇ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Смирний М.Ф., докт. техн. наук, проф.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто питання підвищення точності визначення механічних напружень у сталевих конструкціях. Запропоновано застосувати Ш-подібний магнітопровід з додатковою обмоткою.

Ключові слова: головка запису, магнітопровід, обмотка, точність

Рассмотрен вопрос повышения точности определения механических напряжений в стальных конструкциях. Предложено применить Ш-образный магнитопровод с дополнительной обмоткой.

Ключевые слова: головка записи, магнитопровод, обмотка, точность

The question of increasing the accuracy of determination of mechanical stress in steel structures. Asked to apply Ш-shaped magnetic double winding.

Keywords: magnetic recording, head, coil, accuracy

Якість сталевих виробів суттєво впливає на стійкість у різних кліматичних умовах, ресурс та термін безаварійної роботи при статичних та динамічних навантаженнях, безпечний вплив на навколишнє середовище. Застосування запропонованого пристрою для неруйнівного визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях на будь-якому етапі життєвого циклу сприятиме підвищенню рівня їхньої безпечної експлуатації.

Відомо пристрій для визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях, що містить магнітопружний датчик з магнітною головкою запису, джерело живлення постійного струму, поточкочутливий перетворювач магнітного поля, згладжуючий фільтр, реле часу з контактною групою та двома регульовальними ланцюгами, блок вимірювання та сигналізації, з'єднаний з парою контактів контактної групи реле часу, як поточкочутливий перетворювач магнітного поля застосовано незамкнений магнітопровід магнітної головки запису, кожний з полюсних наконечників якого забезпечено додатковою обмоткою та виконано з наскрізними отворами, де розташовано по дві додаткові обмотки збудження, причому зазначені додаткові обмотки сполучено зі входом блока вимірювання та сигналізації [1]. Недоліком відомого пристрою є те, що наявність П-подібного незамкненого магнітопроводу магнітної головки запису через суттєві магнітні потоки позаполюсного розсіяння не забезпечує достатню чутливість пристрою та точність вимірювання.

Відомий пристрій вдосконалений шляхом того, що незамкнений магнітопровід магнітної головки запису виконано Ш-подібної форми, додатковий полюсний наконечник якого забезпечено додатковою сигнальною обмоткою та виконано з наскрізними отворами, де розташовано дві додаткові обмотки збудження, що дозволить, завдяки збільшенню корисного потоку магнітного від-

битка, суттєво підвищити чутливість та точність роботи пристрою [2]. На рис. 1 зображено схему пристрою для визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях 1.

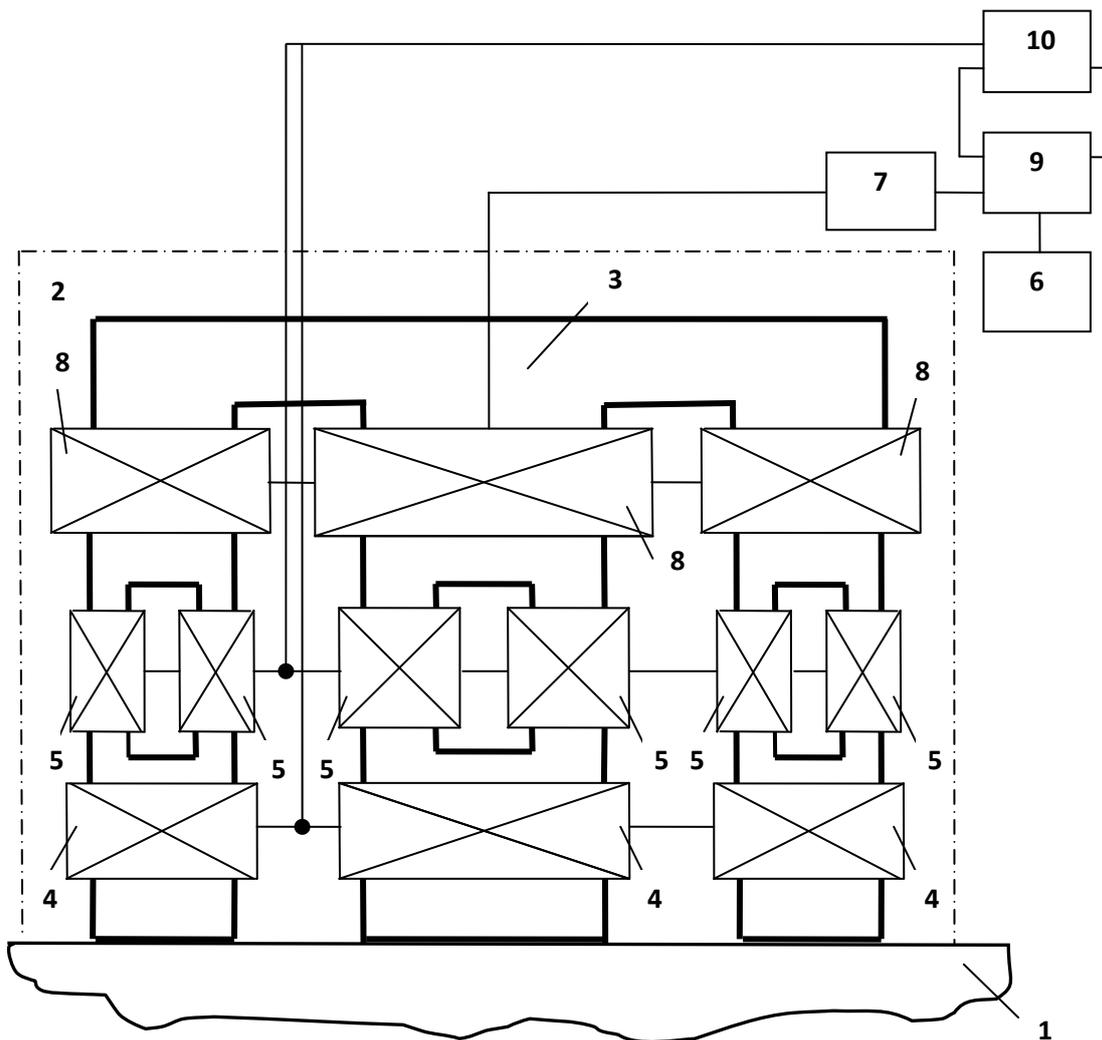


Рис.1 – Пристрій для визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях

Він містить магнітопружний датчик 2 з магнітною голівкою запису 3, незамкнений магнітопровід якої виконано Ш-подібної форми, на кожному з полюсних наконечників розташовано сигнальну обмотку 4 та які виконано з наскрізними отворами, де розташовано по дві обмотки 5 збудження, джерело 6 живлення постійного струму, згладжуючий фільтр 7, сполучений виходом з обмотками запису 8, реле часу 9 з контактною групою і двома регульовальними ланцюгами (не показані), блок 10 вимірювання та сигналізації, сполучений входом з реле часу 9 та з обмотками 4, 5.

Пристрій для визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях працює наступним чином. Магнітна голівка запису 3 встановлюється в місці визначення механічних напружень.

Перед дією механічних напружень запускається реле часу 9, яке своєю контактною групою підключає обмотки запису 8 через згладжуючий фільтр 7 до джерела 6 живлення постійного струму. Під впливом імпульсного магнітного поля ділянка феромагнітної конструкції 1 у місці вимірювання переходить до

стану магнітного насичення, а після закінчення магнітної дії на неї - до стану залишкової намагніченості. На цей час реле часу 9 відключає вхід згладжуючого фільтра 7 від джерела 6 живлення постійного струму і через невеликий інтервал часу підключає блок 10 вимірювання та сигналізації. Під час дії механічного навантаження змінюється напружений стан матеріалу в місці вимірювання, що призводить до зміни точки на граничній петлі гістерезису, що відповідає зменшенню напруженості поля на величину, пропорційну діючим механічним навантаженням. Кожна з пар додаткових обмоток 5 відіграє роль модулятора магнітного потоку, який замикається незамкненим магнітопроводом магнітної головки запису 3.

Сумарний корисний сигнал з послідовно з'єднаних сигнальних обмоток 4, що відповідає напруженості магнітного поля залишкової намагніченості ділянки феромагнітної конструкції 1, подається у блок 10 вимірювання та сигналізації, який за різницею величин напруженості магнітного поля до і після навантаження визначає механічне напруження у феромагнітній конструкції 1.

Запропонований пристрій для визначення механічних напружень у сталевих виробках забезпечить підвищення точності вимірювання цього важливого параметра, що сприятиме підвищенню рівня безпечної експлуатації феромагнітних конструкцій.

Список літератури. 1. Патент України №52302. Пристрій для визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях / Смирний М.Ф. – 25.10.2010, бюл. №16. 2. Патент України №70933. Пристрій для визначення механічних напружень у феромагнітних конструкціях / Смирний М.Ф. – 25.06.2012, бюл. №12.

УДК 621.9

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПП «НИКИФОРОВ»

Савченко М.Ф., канд. техн. наук, доц., **Некрасова Ю.О.**, студентка
(Харківський національний економічний університет ім. С.Кузнеця, Харків, Україна)

Введення на приватному підприємстві «Нікіфоров» енергоефективних технологій на основі використання вторинних енергоресурсів дозволяє знизити витрати підприємства, підвищити ефективність виробництва, його конкурентоспроможність та екологічну безпеку

Ключові слова: паливо, вторинні енергетичні ресурси, електроємні технології

Ввод в частном предприятии «Никифоров» энергоэффективных технологий на основе использования вторичных энергоресурсов позволяет снизить расходы предприятия, повысить эффективность производства, его конкурентоспособность и экологическую безопасность

Ключевые слова: топливо, вторичные энергетические ресурсы, электроёмких технологии

Putting on a private enterprise "Nikiforov" energy efficiency technologies through the use of secondary energy company to reduce expenses, improve efficiency, competitiveness and environmental security.

Keywords: fuel, secondary energy resources, electric succinct technology

За останні 200 років спостерігається помітне збільшення рівня енергоспоживання. Воно зросло в 30 разів і вже на початку 2000-х років

досягло 14,3 Гт у.т / рік. Внаслідок цього стрімко скорочуються запаси багатьох видів легкодоступного органічного палива. Сьогодні багато сучасних виробничих підприємств мають у своєму складі великі автоматизовані лінії з виробництва продукції, використовують потужне обладнання та електроємні технології, які дозволяють підприємствам виробляти великий об'єм товарів та продукції за дуже короткі терміни. ПП «Никифоров» для виробництва продукції використовує великий виробничий потенціал, який складається з різноманітних технологічних агрегатів, таких як печі, станки та ін.

Утримання великого комплексу виробничого обладнання неможливо без значних витрат на енергоресурси. Сукупні витрати на утримання та організацію виробництва спонукають підприємства шукати шляхи мінімізації витрат на електро-ресурси та вдосконалення наявних видів обладнання.

Для багатьох виробничих підприємств сьогодні постає питання ресурсозбереження. Згідно ДСТУ 3051-95 ресурсозбереження – це «діяльність (організаційна, економічна, технічна, наукова, практична, інформаційна), методи, процеси, комплекс організаційно-технічних заходів, що спрямовані на економне витрачання ресурсів» [2].

Будь-який технологічний процес вимагає певної витрати палива, електричної і теплової енергії, в результаті хімічних реакцій, при переробці матеріалу виділяється велика кількість тепла. Ці енергетичні ресурси, як правило, використовуються не в повному обсязі або не використовуються зовсім.

В процесі виробництва на багатьох етапах і рівнях виробничої діяльності з'являється можливість використання ВЕР [4].

Вторинні енергетичні ресурси – це енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути повторно використаний для інших агрегатів (процесів) [3].

У процесі досліджень науковцями було встановлено, що вартість тепло-енергії, отриманої в утилізаційних установках, нижче витрат на вироблення такої ж кількості теплоенергії в основних енергоустановках [1].

Для ПП «Никифоров» пропонується впровадження утилізаційної установки для утилізації тепла у ливарному виробництві. Принципова схема використання ВЕР, представлена на (рис. 1). На схемі проілюстровані окремі потоки, за якими тепло надходить в діючу утилізаційну установку та повертається до попереднього процесу, з якого він надійшов.

З загальних витрат теплоти високого потенціалу близько 33% йде на плавку, 40% – на нагрівання і 20% на випал руд і мінеральної сировини [58]. Тому при правильному використанні ВЕР, що утворилися в вигляді тепла основної, побічної продукції та відхідних газів технологічних агрегатів, досягається значна економія палива. Такі переваги можуть бути досягнуті при використанні утилізаційних установок в енергоємних технологічних агрегатах. Наприклад, при впровадженні теплової утилізаційної установки для ливарної печі потужністю 75 кВт/г при виплавці металу втрачається від 30% теплової енергії, яка могла б піти на виплавку металу. Тому при впровадженні такої

утилізаційної установки витрати електроенергії зменшаться до 53 кВт/г. Тобто додатково зберігається 22 кВт/г. За допомогою повернення частини теплової енергії збільшиться і маса виплавлених металів. Приблизно при виплавлінні на 1 кг металу потрібно 1,4 кВт/г.

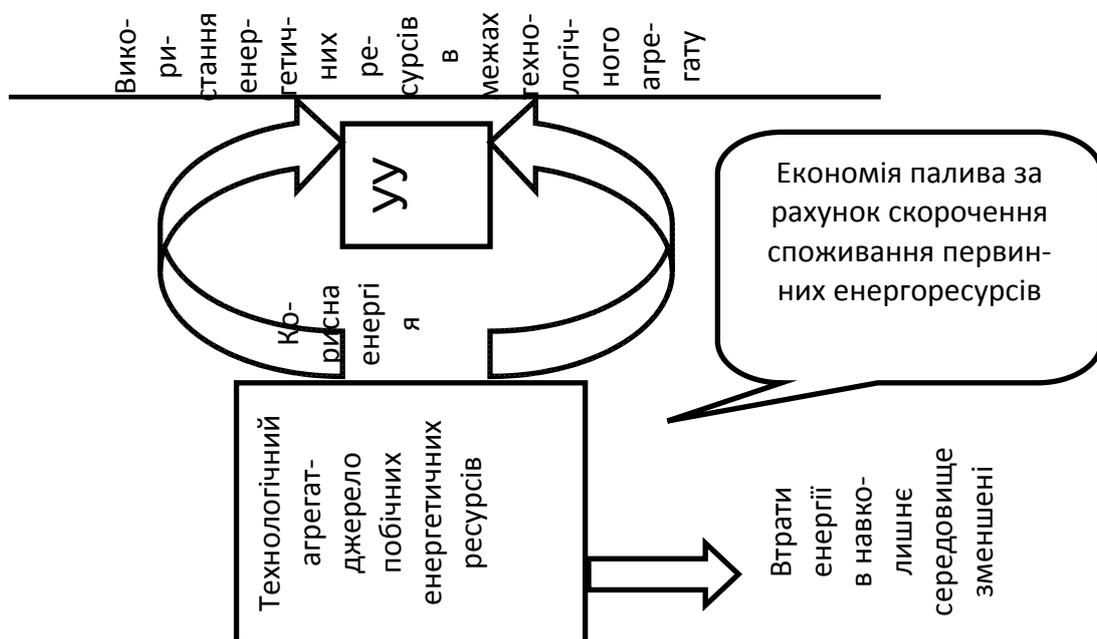


Рис. 1. Схема використання ВЕР

Додаткова маса металу, яка буде виплавлена становить: $22/1,4 = 15,7$ кг.

При цьому за даними підприємства додатково можливо економити ще 15,7 кг сировини. Економія за один цикл складе: $75 - 53 = 22$ кВт/г.

Печі працюють без зупинки у три зміни тривалістю 7 годин. В місяці піч працює 24 дня.

Річна економія склала: $22 \times 7 \times 24 \times 12 = 44$ тис кВт/г. В грошовому еквіваленті: $44000 \times 1,24 = 54560$ грн. економії за електроенергією.

Розрахуємо підвищення продуктивності печі:

$ПП = 75 \text{ кВт/г} / 1,4 = 53,57$ кг виплавленої сировини.

Загальна кількість сировини: $53,57 + 15 = 68,57$ кг сировини при використанні утилізаційної установки; $\Delta ПП = (68,57 \text{ кг} \times 100\%) / 53,57 \text{ кг} = 128\%$.

Тобто, при впровадженні енергозберігаючої установки продуктивність печі зросла на 28%.

Впровадження енергозберігаючих технологій, а саме встановлення утилізаційної установки на ПП «Никифоров» для утилізації тепла у гарячому ливарному виробництві сприятиме ефективній регенерації та рекуперації енергії, завдяки яким скоротяться витрати на споживану електроенергію та з'явиться резерв заощаджених фінансових коштів. Також підвищиться продуктивність ливарної печі та збільшиться загальна кількість виплавленої сировини.

Після проведених розрахунків встановлено, що вартість тепло-енергії, отриманої в утилізаційних установках, нижче витрат на вироблення такої ж кількості теплоенергії при використанні основних агрегатів (ливарної печі).

Таким чином, впровадження енергозберігаючих технологій, дозволить ПП «Никифоров» вийти на надійний шлях до енергоефективності, конкурентоспроможності, екологічної безпеки та сприятиме зниженню витрат підприємства і підвищенню економічної ефективності виробництва в цілому.

Список літератури: 1. Баганов Є.О. Джерела енергії на Землі: конспект лекцій / Є.О. Баганов. – Херсон, 2009. – 185 с. 2. ДСТУ 3051-95 (ГОСТ 30166-95) Ресурсозбереження. Основні положення. Чинний від 1997.01.01. – К.: Держстандарт України, 1996. – 15 с. 3. Самохвалов В.С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження: навчальний посібник / В.С. Самохвалов. – К. Центр учбової літератури 2008. 4. Суходоля О.М. Фінансові механізми енергозбереження / О.М. Суходоля. – Енергоінформ, №1, січень 2001р.

УДК 004.942:681.322

ДО РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ І ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ В ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТАХ

Савченко М.Ф., канд. техн. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Для покращення техніко-екологічного захисту техногенних об'єктів пропонується створення регіональних і міжнародних автоматизованих систем для проектування технічних систем попередження і ліквідації аварій. Як один з перспективних напрямків інформаційного наповнення баз даних, пропонується використання спеціальних засобів попередження і ліквідації аварій з використанням імпульсних джерел енергії.

Ключові слова: аварія, вибух, бази даних, інформація, попередження, ліквідація, техногенний об'єкт.

Для улучшения технико-экологической защиты техногенных объектов предлагается создание региональных и международных автоматизированных систем для проектирования технических систем предупреждения и ликвидации аварий. В качестве одного из перспективных направлений информационного наполнения баз данных, предлагается использование специальных средств предупреждения и ликвидации аварий с использованием импульсных источников энергии.

Ключевые слова: авария, взрыв, базы данных, информация, предупреждение, ликвидация, техногенный объект.

To improve the technical and ecological protection of man-made objects proposes the creation of regional and international systems for the automated design of technical warning systems and emergency response. As one of the promising areas of content databases offered use of special means of prevention and emergency response using pulse energy.

Keywords: accident, explosion, databases, information, prevention, elimination, man-made object.

Невпинна діяльність людини як творця духовних і матеріальних цінностей характеризується не лише позитивними, але й, у багатьох випадках, на жаль, негативними наслідками. Негативні наслідки завжди трагічні, оскільки супроводжуються непередбаченими людиною аваріями. Аварії дедалі все частіше становлять загрозу не лише окремим об'єктам, а все більше проявляються

регіонально з поступовою загрозою збільшення масштабів лиха від території окремої зони до територій міста, району, області України, континенту, континентів і навіть усієї планети.

Тому екологічні проблеми, особливо ті, що мають надзвичайне значення у сучасних масштабах технічного, техногенного розвитку промисловості, як у країнах з прогресивною і потужною економікою, потребують збільшення якості досліджень у галузі техніко-екологічного захисту техногенних об'єктів, створення регіональних і міжнародних автоматизованих систем проектування технічних систем попередження і ліквідації аварій (ТС ПЛА) зменшення їх шкідливого впливу у непередбачених, аварійних ситуаціях.

Особливо гострою проблема екологічного захисту стає на техногенних об'єктах енергетичного та хімічних комплексів, де аварії, як показує, наприклад, Чорнобильська, за збитками наближається до гранично небезпечних і можуть перевершувати національні бюджети окремих країн.

Шкідливий внесок на економіку і біосферу України вносять:

1. Аварії, що супроводжуються великим територіальним забрудненням (Чорнобильська, на хімічних виробництвах та ін.).

2. Промислові відходи (шкідливі гази, забруднені води підприємств, сміття та ін.)

3. Застосування у сільському господарстві різних пестицидів (інсектициди, гербіциди, дефоліанти та ін.) у зростаючих масштабах.

Наявною стає тенденція до екологічної експансії, коли промислово розвинені країни намагаються зосереджувати в Україні шкідливі виробництва, експортувати в Україну шкідливі відходи виробництва і такі речовини, використання яких заборонено національними законодавствами розвинутих країн. Характерною рисою нашого сьогодення також є і збільшення кількості аварій і катастроф у промисловості, особливо їх непередбаченість у паливно-енергетичному комплексі, без функціонування якого не можливе існування всіх інших галузей.

Серйозною небезпекою являється і порушення екологічних вимог щодо вибору місця для розташування багатьох АЕС України. Так, Південноукраїнську, Хмельницьку і Рівненську АЕС розміщено в зонах дефіциту водних ресурсів. Не було враховано карстових пустот під майданчиком Рівненської АЕС і карстових явищ у всій зоні її розміщення, що ставить під сумнів подальше безпечне функціонування цієї станції. Усі українські ядерні блоки проектувались у 60-70-х роках і не відповідають сучасним нормам і правилам ядерної безпеки. Тому основними причинами ризику на реакторах типу ВВЕР (в Україні їх налічується 12) є невідповідність стандартам матеріалів і конструкцій, в тому числі конструкції корпусу реактора (зокрема його відзначає підвищена крихкість); оболонки (гермозони); системи аварійного охолодження. На думку фахівців [1], доведення наявних атомних станцій до вимог техніки безпеки цивілізованого світу коштуватиме значно дорожче, ніж спорудження нових електростанцій.

Слід зважити, що рішення інших багатьох питань, особливо використання технічних засобів попередження і ліквідації аварій (ПЛА), ускладнюється тим, що небезпечні аварії, як правило, завжди непередбачені, їх виникнення випад-

кове, являється результатом прикрого впливу якихось дрібних, мало визначених чинників [1-4]. Тому детальні дослідження потребують поліпшення не лише методів прогнозування надійності функціонування техногенних об'єктів, а й послідового збільшення арсеналу технічних засобів запобігання та ліквідації аварій, створення спеціальних баз даних та банків даних (рисунок).

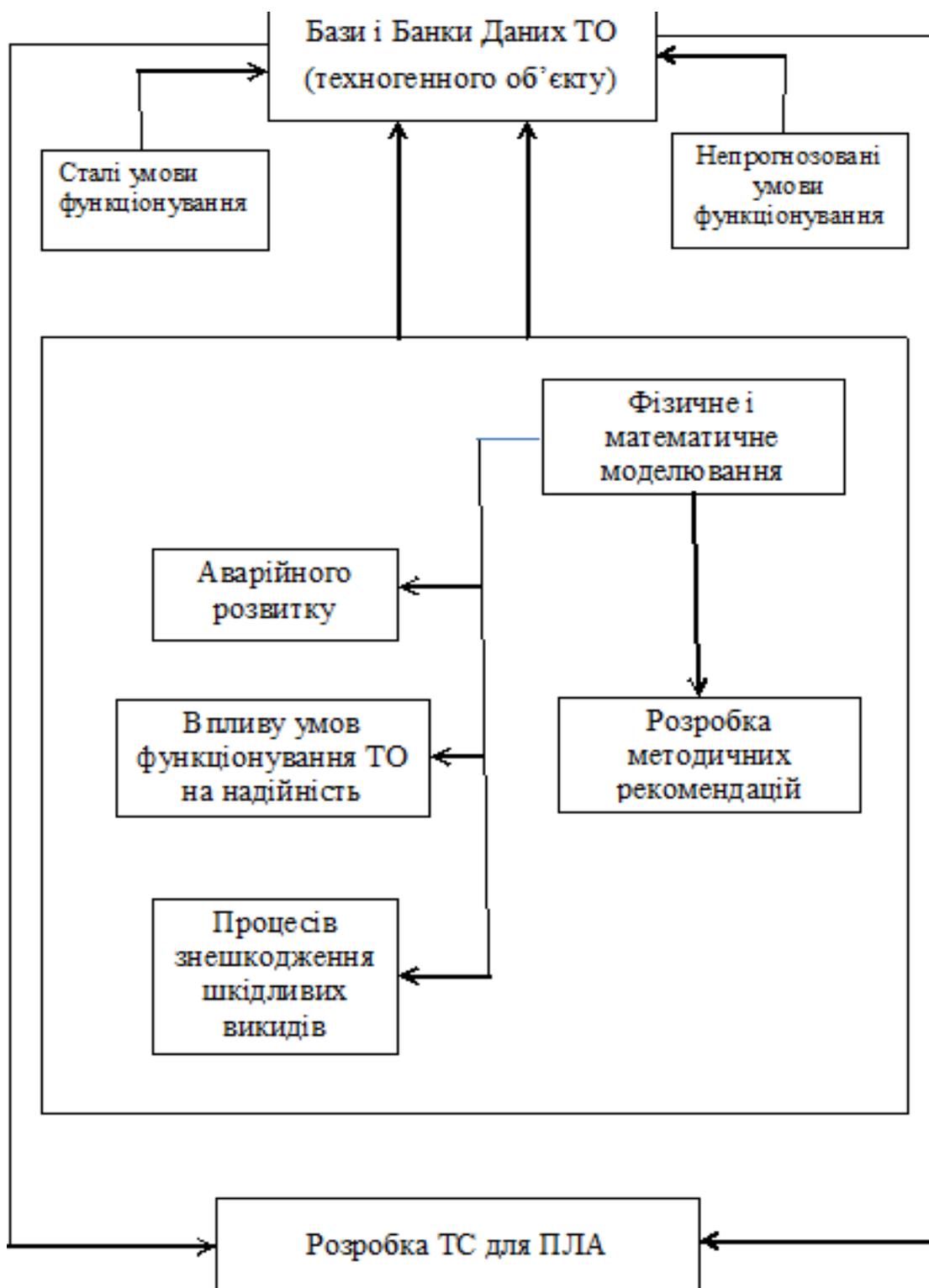


Рисунок – Науково-технічне забезпечення надійності функціонування ТО

Значною мірою рішення екологічних проблем залежить від своєчасності і термінів ліквідації аварій (тривалості, часу спрацювання засобів ліквідації аварії після її виникнення). Зрозуміло, що інформація щодо причин виникнення і методів ліквідації аварій унікальна в багатьох випадках, її слід враховувати в спеціально створених базах і банках даних (рисунок).

Науково-технічне забезпечення надійності функціонування ТО дозволить прогнозувати екологічні проблеми (забруднення середовища, ґрунту, води, атмосфери) в Україні, попередньо визначити, як вони можуть бути вирішені: або зменшенням техногенної активності людини (цей шлях недоречний), або інтенсивним удосконаленням технічних засобів ПЛА. Напрямки запобігання та ліквідації аварій повинні здійснюватись згідно з тими стратегічними завданнями, які визначені міжнародними вимогами, наприклад, стандартами МАГАТЕ, законами України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про поводження з радіоактивними відходами» та іншими документами.

При створенні БД слід використовувати принципи системного підходу до технічної системи «техногенний об'єкт – ТС ПЛА», проводити її аналіз у динамічному розвитку.

При цьому, як висновок, можна вважати що ліквідація аварії потребує суттєвого удосконалення саме засобів ближньої дії – безперечно у серцевині аварії.

Другим висновком є необхідність підвищення потужності і мобільності застосування спеціальних пристроїв та технологій саме на початкових стадіях розвитку аварій, а ще краще, до її виникнення.

Третім висновком є доцільність інтелектуалізації процесу знешкодження аварії, покращення керованості, широке застосування модульних принципів при виготовленні технічних засобів ПЛА.

Четвертим висновком можна вважати необхідність більшого застосування ресурсів енергозбереження при ліквідації аварії як джерел збільшення потужності і тривалості дії засобів ПЛА.

У цьому зв'язку, як приклад, можна вважати доцільним розміщення створених БД в автоматизованих системах ТО не лише підприємств, а й у регіональних і міжнародних БД використання інформації щодо перспективних технологій або пристроїв, наприклад імпульсних джерел енергії для знешкодження аварій.

Список літератури: 1. Ядерная энергия: мифы и реальность, 2-е издание. Издатель: Представительство Фонда имени Генриха Бёлля в Украине и Экоclub (Ровно) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.boell.org.ua. 2. Савченко М.Ф. Розробка пристроїв пожежопридушення для застосування у технічних системах / М.Ф. Савченко // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції– Х.: Нац. аерокосмічний ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2013. – 178 с. 3. Дослідження умов попередження та ліквідації аварій у небезпечних технічних системах та розробка гнучких технологічних систем попередження і ліквідації аварій з застосуванням імпульсних енергоносіїв. Звіт про науково-дослідну роботу. – Харків: ХДЕУ. – 1998. – 28 с.

ДО РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ І ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ (ГТС ПЛА)

Савченко М.Ф., канд. техн. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Для покращення техніко-екологічного захисту техногенних об'єктів пропонується створення регіональних і міжнародних автоматизованих систем для проектування технічних систем попередження і ліквідації аварій. Як один з перспективних напрямків інформаційного наповнення баз даних, пропонується використання спеціальних засобів попередження і ліквідації аварій з використанням імпульсних джерел енергії.

Ключові слова: аварія, вибух, бази даних, інформація, попередження, ліквідація, техногенний об'єкт.

Для улучшения технико-экологической защиты техногенных объектов предлагается создание региональных и международных автоматизированных систем для проектирования технических систем предупреждения и ликвидации аварий. В качестве одного из перспективных направлений информационного наполнения баз данных, предлагается использование специальных средств предупреждения и ликвидации аварий с использованием импульсных источников энергии.

Ключевые слова: авария, взрыв, базы данных, информация, предупреждение, ликвидация, техногенный объект.

To improve the technical and ecological protection of man-made objects proposes the creation of regional and international systems for the automated design of technical warning systems and emergency response. As one of the promising areas of content databases offered use of special means of prevention and emergency response using pulse energy.

Keywords: accident, explosion, databases, information, prevention, elimination, man-made object.

Головними напрямками для пошуків сприйнятливих рішень при проектуванні гнучких технологічних систем попередження і ліквідації аварій є:

- підвищення ефективності замкнених виробництв і ресурсо-зберігаючих технологій з максимальним зменшенням кількості шкідливих відходів (викидів) виробництва при аваріях та їх ризику виникнення;

- використання прогресивних засобів усунення аварій з використанням різноманітних фізико-хімічних процесів, в тому числі і переробки відходів виробництва з найменшими втратами при усуненні аварії.

Кожен з цих напрямків потребує удосконалення або розробки нових, в багатьох випадках багатокритеріальних і альтернативних рішень при ліквідації аварій. З позицій невизначеності ці рішення можуть бути визнані як:

- 1) рішення ефективно у певній ситуації;
- 2) існуюче рішення не є оптимальним саме у даній ситуації;
- 3) запропоноване рішення ефективно, але не оптимальне;
- 4) запропоноване рішення не погіршує, але й не покращує протиаварійні заходи;

5) запропоновані заходи не можуть бути оцінені: потребують детальної перевірки, не існує надійного оснащення приладів чи технологій і можливі для використання лише у певних умовах (наприклад, під час аварії) і так далі.

Складність виявлення сприйнятливих рішень полягає у тому, що можна вважати всі, у тому числі і існуючі, рішення не достатньо ефективними або умовно ефективними. Так, перший підхід передбачає, що протиаварійні засоби ефективні, підлягають аналітичному розрахунку в межах, які визначені досить точно.

Це було б найкращим вирішенням проблеми попередження і ліквідації аварій, якби час виникнення аварії міг бути точно визначеним.

Другий підхід свідчить, що рішення не оптимальне, але може бути сприйнятливим при певних кількісних співвідношеннях потужності ГТС ПЛА з потужністю аварійного об'єкту, своєчасності їх використання (що не завжди дотримується).

Третій підхід передбачає, що запропоноване рішення хоча й ефективне, але не оптимальне - може бути надто дорогим або включати якісь компоненти, характеристики котрих можуть змінюватись якимось чином - раптово або на протязі певного часу. Під час аварії ефективність застосування такого типу систем не визначена.

Четвертий підхід – це майже класична ситуація, коли існують альтернативні варіанти застосування певних фізико-хімічних ефектів для розробки протиаварійних засобів, але вони не спроможні внаслідок певних причин значно поліпшити існуючі протиаварійні заходи.

П'ятий підхід підкреслює невизначеність ідеї за даних обставин - вона може бути найкращою, якщо дотримуються певні умови. Наприклад, порівняно зовсім недавно, у 1970-80 роках, для гасіння пожежі у нафтовій або газовій свердловині пропонувалось використання малих атомних бомб (обмеженої дії), але їх застосування екологічно шкідливе через надвелику потужність і радіоактивне забруднення середовища.

Таким чином, визначення оптимальних рішень для діючих техногенних об'єктів (ТЕО) потребує еволюційного удосконалення протиаварійних засобів, прогнозування яких може відбуватись з використанням запропонованих підходів, що передбачають застосування передових здобутків науки і техніки [1-5].

Для прогнозування ефективності інженерних рішень для попередження і ліквідації аварій слід зважувати на критерії:

термін використання протиаварійних засобів – визначається тривалістю обробки одиниці площі ТЕО;

структури, тобто визначення на базі фундаментальних знань, експериментальних даних чи досвіду функціональних взаємозв'язків між елементами технічних засобів попередження і ліквідації аварій;

прогнозування шкідливих ускладнень у функціонуванні техногенного об'єкту, які безпосередньо сприяють виникненню аварійної ситуації та морфологічний синтез варіантів усунення небезпеки;

аналіз протиаварійної системи за критеріями, які визначають її ефективність: швидкодія, вартість застосування, можливі шкідливі наслідки, потуж-

ність, надійність, безпечність, тривалість перебування у небезпечній зоні (життєздатність), циклічність дії (кількість циклів) та інші;

розробка гнучких технологічних систем попередження і ліквідації аварій (ГТС ПЛА).

При дослідженні і проектуванні ГТС ПЛА запропонована така будова цієї системи:

- 1) робочий орган (РО) для придушення джерела аварії;
- 2) пристрій керування РО для його переміщення і точного спрямування;
- 3) транспортний пристрій, який призначається для доставляння і розміщення РО безпосередньо у небезпечній зоні;
- 4) система матеріально-технічного забезпечення функціонування ГТС ПЛА.

Одним з рішень проблеми проектування ГТС ПЛА є розробка засобів їх формального опису на базі евристичних методів. Базою засобів формального опису ГТС ПЛА може бути використання функціональних елементів, які віддзеркалюють можливості ГТС ПЛА та її складових частин у вигляді цілком обумовлених (альтернативних рішень) понять. Ці поняття можуть бути використані для розробки морфологічних структур з метою подальшого знаходження компоновок ГТС ПЛА, будови її складових елементів.

При необхідності синтезування рішень може проводитись як:

- 1) загальний структурний синтез всієї ГТС ПЛА, коли визначається її компоновка і принцип застосування;
- 2) елементний синтез, коли передбачається формування якихось вузлів, частин ГТС ПЛА.

Таким чином, на першому етапі слід розробити матриці елементів, стовпці яких не складові частини ГТС ПЛА, а рядки – альтернативні варіанти локальних рішень.

Загальна кількість варіантів рішень може визначатись:

$$N = \prod n_i \cdot m_j,$$

де n_i - стовець (складова частина ГТС ПЛА), $i = 1, 2, \dots, p$,

m_j - кількість елементів у рядку, $j = 1, 2, \dots, k$ відповідного стовпця.

Як приклад, можна визначити особливості використання імпульсних джерел енергії – вибухових речовин і горючих газів розташованих у спеціальних пристроях або у штучно створених ємкостях. За критеріями гнучкості (швидкість перевлаштування на більш потужні, малі габарити, простота застосування) дозволяє створити нове обладнання – ГТС ПЛА. Головною особливістю ГТС ПЛА є можливість застосування різних швидкодіючих пристроїв для дискретного або умовно-безупинного знешкодження аварійно-небезпечних елементів ТЕО. При цьому процеси використання ГТС ПЛА при ліквідації аварій для швидкодіючих пристроїв можуть мати ланцюговий характер, коли спрацювання одного пристрою повністю або частково стає передумовою роботи другого або підсилює його дію. Можливими наслідками і перевагою такого механізму навантаження аварійно-небезпечних елементів ТЕО є пульсуюча дія робочого середовища, яка проявляється у примусовій зміні агрегатного стану середовища: то у надзвичайно великому, то у низькому тискові у зоні аварії. Це ство-

рює умови для швидкого пригнічення джерела аварії при найменших витратах енергії і завдяки зменшенню температури у небезпечній зоні і здійсненню певних хіміко-фізичних перетворень може значно підсилювати ефективність використання ГТС ПЛА.

Серед можливих рішень у цій галузі значні переваги належать робочим органам – спеціальним пристроям типу контейнер для вибухових речовин, вакуумні системи, газові і вибухові (імпульсні) камери. Наприклад, контейнер для заряду вибухової речовини (ВР) як робочий орган виконується у вигляді ємкості з двухшаровими стінками, щілина між якими заповнюється рідиною - водою або спеціальними розчинами (А.с. СРСР N 1007261). Використання контейнера дозволяє наблизити з максимальною точністю і до найменшої відстані робочий орган до небезпечного об'єкту або аварійного елемента. Контейнер, у якому попередньо змонтовано один або декілька зарядів ВР, за допомогою транспортного засобу розміщується у потрібній, оптимальній з точки зору ефективності застосування, зоні біля ТЕО. При цьому заряд ВР або заряди ВР можуть бути змонтовані у спеціальних капсулах, які за допомогою додатково розміщених у контейнері механізмів можуть викидатися з контейнера, згідно з програмою знешкодження джерела аварії. Такими механізмами можуть бути гідравлічні, пневматичні, важільні та інші.

Контейнер або імпульсна камера у зону аварії може подаватись кількома варіантами:

- за допомогою трособлочної системи двух типів (моно- і трьох-тросової), попередньо жорстко орієнтованих або з гнучким керуванням процесу транспортування контейнера;

- за допомогою стріляючих пристроїв типу пневмо, гідро-пневматичних, газових імпульсних камер або гармат;

- за допомогою маніпуляторів.

Для збільшення силового ефекту при знешкодженні аварії у робочій зоні контейнер для заряду ВР може використовуватись як концентратор силового потоку завдяки стінкам спеціальної конструкції, які для цього змінюють своє положення відносно джерела аварії згідно з принципом канального перерозподілу силового потоку.

Такі пристрої розроблялись та продовжують розроблятись у провідних вузах країни, серед яких можна виділити і харківські (наприклад ХНАУ ім. М.Є. Жуковського (ХАІ), ХНЕУ ім. С. Кузнеця).

Список літератури: 1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий / Под ред. К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. – 1996. – Вып. 2. – 383 с. 2. Акимов В. А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В. А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М.: ЗАО ФИД, 2001. – 344 с. 3. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справ. изд. / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов, А.Я. Корольченко и др. – М.: Химия, 1987. – 272 с. 4. Крон Г. Исследование сложных систем по частям - диакоптика / Г. Крон. – М.: Наука, 1972. – 544 с. 5. Батанов А.Ф. Технология применения дистанционно управляемых мобильных комплексов / А. Ф. Батанов, С. Н. Грицин, С. В. Муркин // Специальная техника. – 2000. – № 2. – С. 31–37.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ І ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ (ГТС ПЛА)

Савченко М.Ф., канд. техн. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Для покращення техніко-екологічного захисту техногенних об'єктів пропонується методологія проектування технічних систем попередження і ліквідації аварій з позицій системного підходу. Приведені приклади її застосування з використанням спеціальних засобів попередження і ліквідації аварій.

Ключові слова: аварія, вибух, технологічна система, еволюція, попередження, ліквідація, техногенний об'єкт.

Для улучшения технико-экологической защиты техногенных объектов предлагается методология проектирования технических систем предупреждения и ликвидации аварий с позиций системного подхода. Приведены примеры ее применения с использованием специальных средств предупреждения и ликвидации аварий.

Ключевые слова: авария, взрыв, базы данных, информация, предупреждение, ликвидация, техногенный объект.

To improve the technical and ecological protection of man-made objects offered technical systems design methodology warning and emergency response of the system approach. Examples of its application with the use of special tools to prevent and eliminate accidents.

Keywords: accident, explosion, databases, information, prevention, elimination, man-made object. з використанням імпульсних джерел енергії. використання принципів

Екологічні проблеми, особливо ті, що виникають внаслідок технічного, техногенного розвитку промисловості у країнах з прогресивною і потужною економікою, потребують удосконалення та проектування нових технічних систем попередження і ліквідації аварій (ТС ПЛА). Особливе значення набувають гнучкі технологічні системи попередження і ліквідації аварій (ГТС ПЛА) [1,2].

Значення може бу(ГТС ПЛА) ти вирішальним впливу у непередбачених, аварійних ситуаціях. мають надзвичайне значення у сучасних масштабах

Для проектування і прогнозування ефективності обладнання ГТС ПЛА, своєчасної орієнтації у питаннях його зміни або удосконалення необхідно використовувати принципи системного підходу до технічної системи «техногенний об'єкт - ГТС ПЛА», проводити її аналіз у динамічному розвитку. Заслужують уваги такі принципи системного підходу: - принцип еволюції, який стверджує, що для різних технічних систем характерне явище еволюції, «життєвий цикл», зміни характеристик техногенного об'єкту як машини у часі (надійність, продуктивність, потужність, швидкість, точність та ін.).

Згідно з цим принципом розвиток аварії і заподіяну шкоду можливо у залежності від тривалості ліквідації аварії визначити, наприклад, як на рис.1. Розмір заподіяної шкоди при аварії екологічно небезпечного об'єкту тим менший, чим швидше буде ліквідована аварія, тобто чим ефективніша система протиаварійного забезпечення функціонування ТЕО.

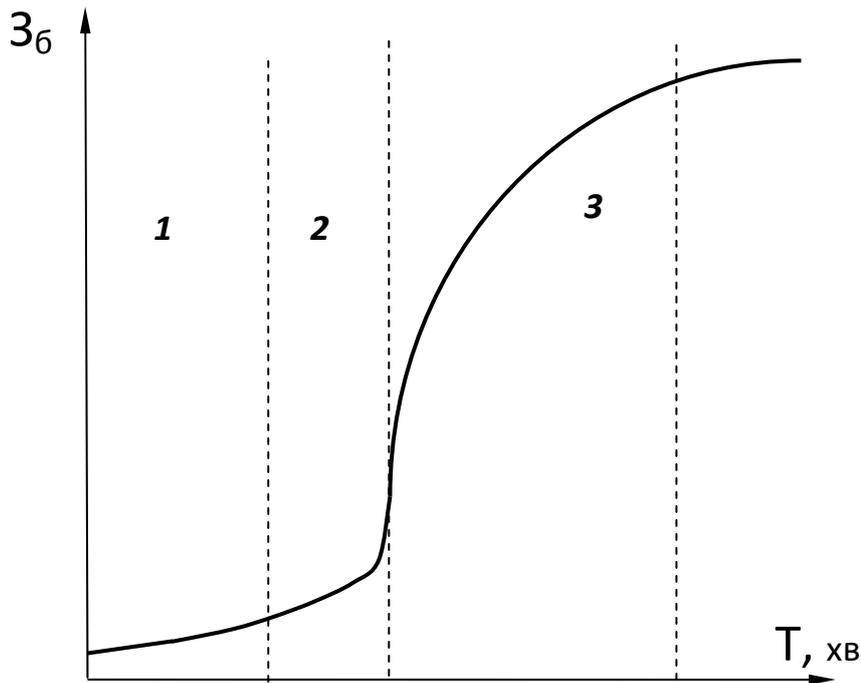


Рис.1 – Залежність величини збитків від початку ліквідації аварії (її життєвий цикл)

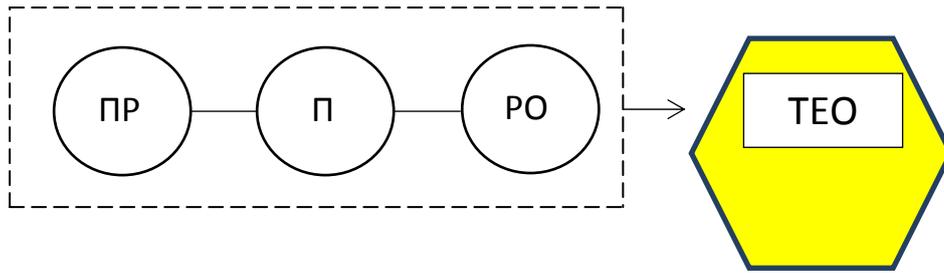
Згідно з цією залежністю «життєвого циклу» аварії, слід виявляти і знешкоджувати аварію під час її раннього розвитку (1-й етап). На другому етапі знешкодження аварії (2-й етап) збитки суттєво залежать від потужності протиаварійних засобів. На третьому (3-й етап) етапі у залежності від тривалості ліквідації аварії збитки (їх розмір) максимальні і визначаються у більшій своїй частині шкідливістю екологічних наслідків, які проявляються на протязі певного, іноді досить тривалого, часу.

Принцип цільності полягає у тому, що протиаварійні засоби і обладнання як машини, перш за все, – це технічні системи, які обов'язково складаються з цілком визначених елементів (вузлів).

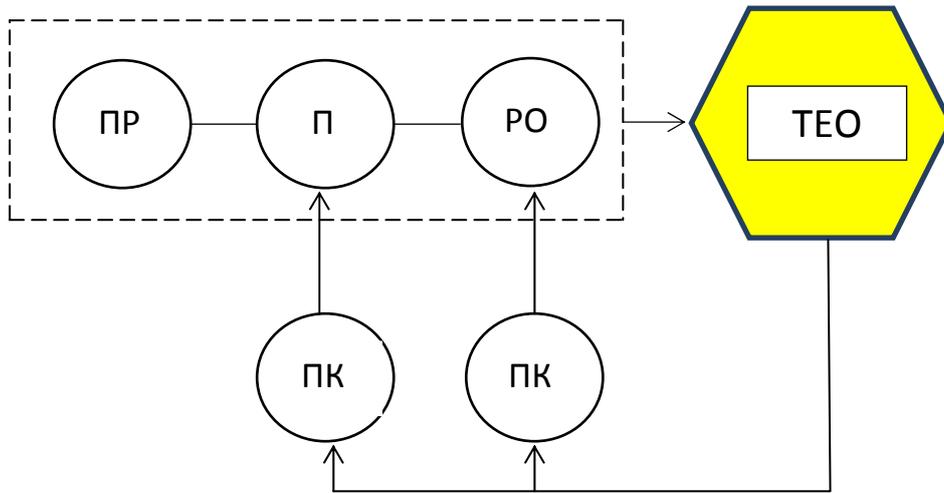
Згідно такому принципу, протиаварійна система як машина (вищий ранг пристрою) обов'язково має наявність взаємодіючих елементів за загальним підходом, – привід, передача, робочий орган, пристрій керування (рис. 2). Такий підхід полегшує аналіз різних пристроїв без деталювання розбіжностей або співбігу функцій вузлів машин.

Згідно з таким підходом протиаварійні засоби, як засоби екстремальних технологій, потребують пошуків і розробок ефективних рішень для всіх складових елементів протиаварійного обладнання ТЕО і залежать від термінів і особливостей експлуатації ТЕО.

Можливі конструктивні рішення виявляються послідовно, після повного перебирання варіантів, при цьому кожен варіант перевіряється на відповідність усім умовам обмеження сумісного застосування. Відомо, що серед цих надпотужних та екстремальних технологій окреме і досить пристойне місце займають методи з використанням вибуху (невелика вартість, потужність).



а



б

Рис. 2 – Приклади побудови ГТС ПЛА як машини:
 ПР – привід; П – передача; РО – робочий орган;
 ТЕО – техногенний об'єкт; ПК – пристрій керування

Принцип сумісності елементів у системі вказує на те, що система складається не з любых елементів, а тільки з тих, властивості яких відповідають вимогам сумісності. Це означає, що власні якості (властивості) окремих елементів повинні забезпечити можливість взаємодії з іншими як єдиного цілого. Це передбачає необхідність введення у структуру засобів ПЛА спеціальних елементів для забезпечення тривалості взаємодії робочих органів і ТЕО на принципах збільшення життєздатності.

Принцип структурності визначає те, що елементи, з яких складається система, знаходяться у системі не довільно, а виявляють певну, характерну для даної системи протиаварійного забезпечення структуру взаємодії елементів системи ПЛА (рис. 2.).

Згідно з таким підходом для екстремальних технологій ПЛА доцільно використання різних типів пристроїв ПЛА: з обмеженою (короткою) керованістю (рис. 2,а), коли робочий орган виконує свої функції без урахування особли-

востей функціонування інших елементів, або з визначенням керованості (рис.2,б), коли дії робочого органу можуть коректуватись у залежності від типу пристроїв керування. Керування може бути пов'язане з аналізом стану ТЕО за принципом зворотного зв'язку. (індивідуальної дії, рис. 3,б) або більш складної єдиної системи керування; без урахування інформації про стан ТЕО (рис. 3,в) і з урахуванням такої інформації при використанні бази даних (БД) - рис.3,г.

Принцип нейтралізації дисфункцій вказує на те, що внутрішні властивості або зовнішній вплив середовища можуть виникати небажані властивості і функції, які необхідно передбачувати і ліквідувати за допомогою допоміжних елементів (систем резервування, відновлення працездатності та інш.). Такими системами можуть бути системи акумулювання енергії, охолодження, антикорозійного захисту.

Принцип спеціалізації і інтеграції функцій вказує на те, що при розвитку систем проходять два ніби протилежних і у той же час взаємодоповнюючих явищ, які сприяють підвищенню ефективності системи: з одного боку, спеціалізація елементів на виконання визначених функцій, а з другого – зосередження споріднених функцій у певних елементах, тобто виникнення інтегральних функцій і ієрархічних структур. Наприклад, підвищення надійності попередження аварії вимагає створення спеціальних пристроїв і систем, але при цьому виникає необхідність вирішення проблем по безперебійному забезпеченню такого обладнання енергією. Інформацією, своєчасному виведенню з робочої зони відходів виробництва, урахування досягнень науки і техніки у інших галузях та інш. Таким чином, чим вище рівень спеціалізації, тим більше інтеграція функцій керування, розширення її значення і межі застосування.

Принцип лабілізації функцій. З розвитком системи проявляється властивість швидкої зміни і придбання нових функцій, їх розширення. Це свідчить про збільшення гнучкості при розробці екстремальних технологій ПЛА – доцільності при найменшій кількості пристроїв ПЛА збільшувати обсяги їх робіт у небезпечній зоні ТЕО.

Принцип адаптації – технічна система (ГТС ПЛА) повинна пристосовуватись до умов, які швидкоплинно змінюються під час виникнення і розвитку аварії. Це передбачає необхідність збільшення потужності приводу для транспортування робочого органу у зону зародження кризи, серцевину аварії. У свою чергу, робочий орган мусить пристосовуватись до зміни умов функціонування, їх погіршення, збільшувати функціональне навантаження, обсяги роботи у залежності від стадії розвитку аварії.

Принцип урахування імовірних факторів. Будь-яка ГТС ПЛА не може урахувати всі зв'язки і наслідки взаємодії елементів системи між собою і середовищем. Це потребує дублювання окремих елементів системи, найбільш відповідних за діяльність ГТС ПЛА, а також можливість вилучення цієї системи або розміщення іншої у зоні аварії.

Принцип ієрархічної декомпозиції визнає відносним поняття «система» і «елемент» в тому розумінні, що за певних обставин елемент системи може розглядатись як сама система, або сама система може бути підсистемою (елементом) більш обсяжної системи.

Наприклад, ГТС ПЛА може бути елементом техногенного об'єкту, процеси у якому сприяють функціонуванню ГТС ПЛА. Другим прикладом можна вважати безпосередньо робочий орган ГТС ПЛА, який може бути, у свою чергу, окремою системою – з приводом, пристроєм керування, механізмами переміщення та іншими елементами системи.

Принцип поліфункціональності визнає можливим існування у системі декількох функцій або цілей (тиск і розрідження у серцевині аварії, розрізання елементів ТЕО і їх транспортування, можливість зміни розмірів і розташування та ін.).

Принцип ізоморфізму вказує на те, що існування різних систем (ТЕО – ГТС ПЛА) може мати спільні закономірності у будові, функціонуванні, розвитку системи (наприклад, фізико-хімічні процеси або кінематичні властивості).

Принцип комплексності ураховує необхідність різноаспектного підходу до побудови ГТС ПЛА, що передбачає прилучення до аналізу і синтезу екстремальних технологій протиаварійної боротьби фахівців різного профілю (медиків, екологів, інженерів і інш.).

Принцип ітеративності полягає в поступовому, поетапному розвитку системи в міру накопичення знань про особливості її функціонування. Це передбачає, у першу чергу, розвинення фізико-математичного моделювання аналогів техногенних об'єктів і відтворення різних варіантів розвитку аварії та вивчення умов її ліквідації.

Принцип варіантності вказує на існування різних, не завжди відомих альтернатив технічного рішення системи, які можуть існувати для інших систем і інших галузей техніки або у природі. Її прикладом може бути застосування досягнень у галузі обробки металів вибухом для ліквідації або попередження аварії – «мала конверсія».

Принцип математизації підкреслює необхідність ґрунтовного аналізу процесів у технічній системі ТЕО-ГТС ПЛА для формування оптимальних умов функціонування вимог до розробки технічної системи (підвищення безпеки і надійності, збільшення ефективності та ін.).

Таким чином, системний підхід до розроблення екстремальних технологій ПЛА свідчить про необхідність застосування саме таких гнучких технологічних систем (ГТС), принципи будови яких у найбільш повному обсязі ураховують особливості функціонування складних технічних систем (перш за все стосовно керування, сумісності, накопичення енергії і збільшення ефективності і тривалості її застосування).

Список літератури: 1. *Савченко Н.Ф.* Методологические основы проектирования технологических систем повышения безопасности техногенных объектов / *Н.Ф. Савченко* // Труды Одесского политехнического университета: Научн и производ.-практич. сб. по техническим и естественным наукам. – Одесса: ОПУ, 2001. – Вып. 5. – С. 136–140. 2. *Савченко Н.Ф.* Методологические основы проектирования гибких технологических систем предупреждения и ликвидации аварий (ГТС ПЛА) / *Н.Ф. Савченко, Н.Н. Савченко, Д.В. Матюхин* // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: Збірка наук. праць. Тематичний випуск: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2001. – №3. – С. 187–189.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ПРОЦЕССЫ В СТЕКОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Дитиненко С.А., канд. техн. наук, доц.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Рассмотрен вопрос замены газовой-кислородной смеси на водородно-кислородную.

Ключевые слова: *стекло, водород, кислород, газовая горелка, электролизер.*

Rozглянуто питання заміни газово-кисневої суміші на воднево-кисневу.

Ключові слова: *скло, водень, кисень, газовий пальник, електролізер.*

The question of replacing the gas-oxygen mixture in the hydrogen-oxygen.

Keywords: *glass, hydrogen, oxygen, a gas burner, an electrolyser.*

Производство стекла и изделий стекольной промышленности в последние годы довольно широко набирает обороты, в связи с растущим спросом со стороны населения.

Производственная фирма «ШакриЗ» основана в августе 1992г. Основное направление деятельности фирмы - выпуск различных ареометров для бытовых и производственных нужд, а также изготовление контрольно-измерительных приборов и аппаратуры (КИП и А) для предприятий тепловых сетей. В число продукции производственной фирмы входят также водяные затворы, мановакуумметры, аромаингаляторы, ареометры для соли, ареометры для электролита, спиртомеры бытовые, ареометры для бензина, виномеры-сахаромеры, молокомеры бытовые и спиртомеры рюмочные. Основная база - стеклодувное производство.

Теперь хочется немного рассказать о продукции производственного предприятия. Водяной затвор или водяной замок, гидрозатвор, гидрозамок. Водяной затвор применяется при изготовлении плодово-ягодных вин в домашних условиях и предназначен для предотвращения проникновения воздуха в емкость, в которой происходит спиртовое брожение, а также для отвода избыточного давления углекислого газа из этой емкости.

Мановакуумметр двухтрубный типа МВ- 2Ш (пяти типоразмеров), предназначен для измерения давления газа в газопроводах низкого давления. Аромаингалятор прост в конструкции и обращении, безопасен и предназначен для профилактики и лечения в домашних условиях заболеваний верхних дыхательных путей, сердечно - сосудистой, нервной, эндокринной и иммунной систем организма, гармонизации психоэмоционального состояния человека, а также для ароматизации помещений. Благодаря своей компактности, лёгкости и независимости от внешних источников энергии, аромаингаляторы можно использовать дома, в дороге, на работе и в путешествии.

Ареометр для соли предназначен для определения концентрации поваренной соли (NaCl) в водных растворах в процентах по массе сухих веществ.

Ареометр для электролита используется при приготовлении электролита необходимой плотности для кислотных аккумуляторов. Для измерения плотности электролита в аккумуляторах необходимо дополнительно иметь приспособление для отбора электролита из аккумулятора.

Спиртомер бытовой предназначен для определения объемной концентрации спирта в водноспиртовых растворах. Диапазон измерений от 0 до 96 (% объема). Предел основной допускаемой погрешности ± 2 % об.

Ареометр для бензина (бензиномер) предназначен для определения плотности нефтепродуктов. Обозначения марок бензина, керосина и дизтоплива на шкале ареометра расположены в местах, соответствующих оптимальной плотности для каждой марки. Виномер-сахаромер предназначен для контроля процесса брожения при приготовлении вина и браги. Двойной диапазон измерений. От 0 до 25% сахара. От 0 до 12 (18)% об.

Молокомер бытовой предназначен для измерения плотности молока (обезжиренного, цельного, стерилизованного, витаминизированного, белкового, топленого, повышенной жирности), а также пахты и сыворотки.

Производственная фирма «ШаКриЗ» арендует помещение, которое соответствует всем нормам и требованиям.

К каждому рабочему месту, к горелкам, подводятся газ, кислород и воздух через соответствующие отрезки на магистрали через резиновые шланги высокого давления.

В помещении оборудована вытяжная и приточная вентиляция для удаления дыма и продуктов горения. Однако отсутствие зонтов над каждым рабочим местом, приводит к повышенному накоплению дыма и продуктов горения. Это приводит к необходимости использования более мощной вытяжной и приточной вентиляции.

Для устранения этого недостатка над каждым столом необходимо установить зонт, соединенный с каналом вытяжной вентиляции, для удаления дыма и продуктов горения. Но для того чтобы защитить природу и человека от загрязнений, следует воспользоваться более экологически чистым видом топлива, а именно, смесью водорода и кислорода.

Водородная горелка, как и следует из названия, работает за счет тепла, выделяемого при сжигании водорода. Газовая смесь водорода и кислорода (ННО – две молекулы водорода и одна кислорода) называется у нас гремучим газом, а у «них» – газом Брауна. Водород в совокупности с кислородом обладает самой большой температурой горения среди газов — до 2800 °С. Однако водород крайне взрывоопасен. Как, в общем-то, любой газ, поставляемый в больших баллонах под высоким давлением. Преимущество же водорода (или ННО газа) перед другими видами заключается в возможности получения его методом электролиза из обыкновенной воды! Причем, для создания водородной горелки своими руками нам совершенно не нужно накапливать водород в какие-либо баллоны. Водородная электролизная горелка производит газ в необходимых для моментального сжигания количествах. Это значительно повышает безопасность газовой сварки или резки с применением водородной горелки на базе электролизного ННО генератора.

Пользуясь такой водородной горелкой, мы полностью исключаем вероятность взрыва газа, ведь весь производимый газ тут же сгорает и не успевает накапливаться в объемах, необходимых для взрыва. Благодаря этому часто применяется водородная горелка.

Для повышения эффективности и безопасности эксплуатации, воспользуемся генератором водородно-кислородной смеси, согласно изобретения №2240381, С25В 1/04, 20.11.2004 г.

Поставленная задача решается тем, что в генераторе водородно-кислородной смеси, содержащем качающее устройство с приводом, например с электромотором, расположенное в герметичном корпусе с рубашкой охлаждения, например жидкостной, электролизер с отсекателем, например обратный клапан, для вывода газа и подводкой питания к его электродам от источника постоянного тока, например от аккумулятора, а также устройство подачи и распыления электролита (водного раствора электролита). Качающее устройство выполнено в виде компрессора, например осевого. Электролизер расположен в обособленном, герметичном корпусе и патрубком для ввода электролита сообщен с компрессором. Устройство подачи и распыления электролита снабжено управляемым, например, вручную дросселем и распылителем, например механическим, и выполнено с возможностью подачи электролита на всас компрессора. При этом компрессор выполнен с возможностью создания на своем всасе разрежения в герметичном корпусе, последующего сжатия водяного пара и подачи полученного рабочего тела под давлением за компрессором в электролизер, который через отсекатель связан с потребителем водородно-кислородной смеси.

Генератор водородно-кислородной смеси, содержащий качающее устройство с приводом, выполненное в герметичном корпусе с рубашкой охлаждения, электролизер с отсекателем для вывода газа и подводкой питания к его электродам от источника постоянного тока, а также устройство подачи и распыления электролита, отличающийся тем, что качающее устройство выполнено в виде компрессора, электролизер расположен в обособленном, герметичном корпусе и патрубком для ввода электролита сообщен с компрессором, устройство подачи и распыления электролита снабжено управляемым дросселем и распылителем и выполнено с возможностью подачи электролита на всас компрессора, при этом компрессор выполнен с возможностью создания на своем всасе разрежения в герметичном корпусе, последующего сжатия водяного пара и подачи полученного рабочего тела под давлением в электролизер, который через отсекатель связан с потребителем водородно-кислородной смеси.

Предлагаемый генератор водородно-кислородной смеси в эксплуатации высокоэффективен и абсолютно безопасен, поэтому он найдет применение для использования при выработке тепловой и электрической энергии.

Список литературы: 1. А.с. СССР №1011730, С25В 1/12, 15.04.1983 г. 2. Патент РФ №2240381, С25В 1/04, 20.11.2004 г. - прототип. 3. *Иванов Н. И.* Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник / *Н. И. Иванов, И. М. Фадина.* – Издание второе переработанное и дополненное. – Москва: «Логос», 2004. – 594 с.

АНАЛИЗ ЭНЕГООЭФФЕКТИВНОСТИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УСТАНОВЛЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Бабак Т.Г., доц., **Хавин Г.Л.**, докт. техн. наук
(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Рассмотрена задача реконструкции системы установленных пластинчатых подогревателей. Показано, что для корректного решения задачи необходимо провести анализ энергоэффективности всей системы выпарной станции в целом, который реализован методом пинч-анализа.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, пинч-анализ.

Розглянуто задачу реконструкції системи встановлених пластинчатих підігрівників. Показано, що для коректного рішення задачі необхідно провести аналіз енергоефективності усієї системи станції випаровування, який було реалізовано методом пінч-аналізу.

Ключові слова: пластинчатий теплообмінник пінч-аналіз.

The problem of reconstruction of the plate heaters installed system is considered. It is shown that for a correct solution of the problem it is necessary to analyze the energy efficiency of the whole system evaporator plant, which is implemented by pinch analysis.

Keywords: plate heat exchanger, pinch analysis.

Введение и анализ состояния вопроса. Моделирование схемы установки пластинчатых подогревателей является одним из компонентов более сложных технологических систем. Такие модели позволяют на стадии проектирования определить количество оборудования, его размеры, расход сырья и потребление энергии, что позволяет прогнозировать параметры работы всей системы.

Методика проектирования ресурсо- и энергосберегающих компонентов сложной системы в виде системы подогревателей, опираться непосредственно на решение общей задачи синтеза всей технологической системы, и входит в математическую модель анализа и формулируется как отдельная задача оптимизации компонента системы. Расчету и проектированию систем пластинчатых теплообменников-подогревателей посвящены работы [1–5]

Главной целью при проектировании системы подогревателей, как вспомогательного отделения основного технологического оборудования, является реализация энергии рекуперации тепловых потоков основной системы. Они определяют также величину и характер внешних энергетических источников и внешних энергоносителей.

Задача расчета теплообменника заключается в определении минимальной поверхности теплообмена, удовлетворяющей заданным техническим условиям по передаче тепла и условиям по потерям давления, когда потери давления на прокачивание теплоносителей через аппарат не превышают заданных заранее. В такой постановке априори предусматривается задание фиксированного значения потерь давления при прохождении жидкостей через аппарат. В большинстве реальных приложений именно величина допустимых потерь давления определяет поверхность теплообмена рассчитанного пластинчатого аппарата.

При модернизации имеющегося оборудования (замене теплообменника) эта величина субъективно определяется из мощности насосов обеспечивающих подачу теплоносителей.

При проектировании нового оборудования возможности варьирования величиной допустимых потерь давления несколько шире, но по-прежнему выбор является субъективным. Потери давления в пластинчатом теплообменнике, прежде всего, зависят от скорости движения теплоносителей в каналах и конструктивных особенностей пластин. Заранее предугадать какой тип пластин будет наиболее подходить при заданных условиях довольно сложно. Поэтому при проектировании руководствуются либо известной мощностью насосного оборудования или используют методики, позволяющие найти компромисс между капитальными и эксплуатационными затратами.

Целью работы является разработка системного подхода к решению задачи проектирования и реконструкции систем пластинчатых теплообменников, которая включает в себя следующие этапы:

- оценка энергоэффективности производственного объекта в целом с использованием метода пинч-анализа;
- оптимальное проектирование систем пластинчатых теплообменных аппаратов по критерию приведенных затрат;
- проектирование с учетом загрязнения теплообменных поверхностей во времени, прогнозирование работоспособности по заданному критерию, определение сроков плановых остановок на чистку аппаратов;
- модернизация при необходимости насосного и вспомогательного оборудования на основе прогнозных расчетов по загрязнению.

Постановка проблемы и результаты решения. Одним из наиболее эффективных и простых методов оценки энергоэффективности системы при проектировании или модернизации является метод пинч-анализа [6]. Главное преимущество его использования состоит в том, что целевые значения технологических параметров, которые должен достигнуть проектировщик в результате выполнения проекта, можно получить после предварительной экономической оценки всего проекта.

Пинч-анализ базируется на построении составных кривых тепловых потоков системы на температурно–энтальпийной плоскости, что позволяет определить величину максимально возможной рекуперации тепловой энергии для выбранного значения минимальной разности температур в теплообменном оборудовании.

Таким образом, выбор величины минимальной разности температур определяет и устанавливает энергетические цели проекта.

Рассматривается выпарная установка сахарного завода с расходом осветленного сока 21,7 кг/с. Входной осветленный сок концентрации 15% подогревается с температуры 30 °С до 124 °С, проходя через систему последовательно установленных теплообменных аппаратов. Мощность рекуперации тепловой энергии в системе равна 5175,4 кВт. Для подогрева сока на входе в первый корпус выпарной установки используется ретурный пар с температурой 140 °С.

Мощность потребляемой горячей утилиты (пара) – 2876,2 кВт, холодной (воды) – 1595,3 кВт.

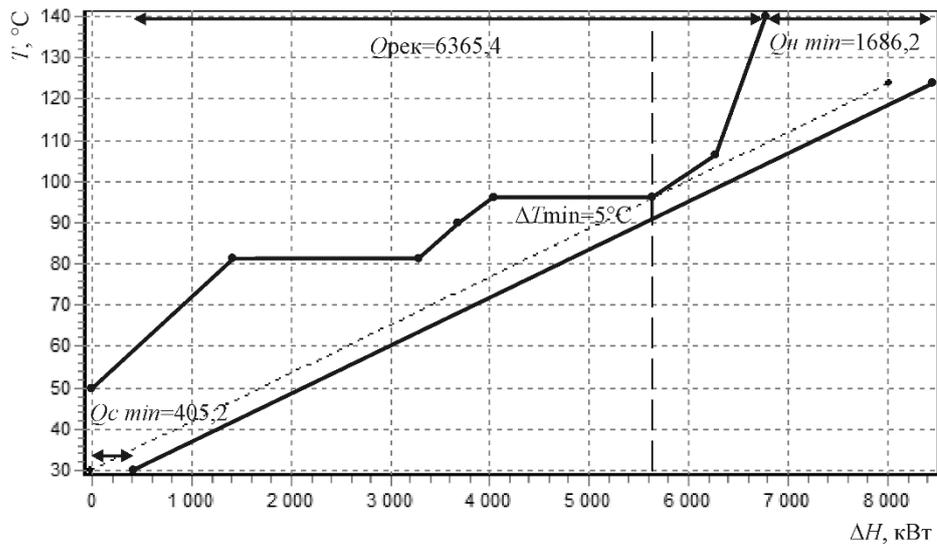


Рис. 1 – Составные кривые технологических потоков

Используя программу PINCH, было рассчитано значение $\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$, которое соответствует минимальному значению общей приведенной стоимости проекта. Составные кривые технологических потоков приведены на рис. 1.

Из составных кривых видно, что при $\Delta T_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$ можно рекуперировать 6365,4 кВт. При этом требуемая мощность пара 1686,2 кВт, а холодной воды – 405,2 кВт. В точке максимального сближения составных кривых – в точке пинча – температура горячих потоков равна 96,1 °С, а холодных – 91,1 °С. В соответствии с этим была построена сеточная диаграмма и размещены теплообменники. Для модернизации тепловой схемы были выбраны разборные пластинчатые теплообменники фирмы Alfa Laval. Результаты расчета аппаратов, размещенных на сеточной диаграмме, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики теплообменного оборудования

№	Тип пластины	Компоновка	Число пластин	Площадь, м ²	Запас (Margin),%
1	M6M	1×65H/1×65H	131	18,3	15
2	M6M	1×40H/1×40H	81	11,3	34
3	M10M	1×76H/1×77H	154	33,9	51
4	M15M	1×34ML/1×35MH	70	43,4	203
5	M6M	1×12H/3×4H	25	3,5	143
6	M15M	2×(9H+6ML)/2×(9H+6MH)	61	37,8	32
H	M6M	1×8MH/1×9ML	18	2,5	114
C	M6	1×(12MH+17L)/1×(12ML+17L)	59	8,9	1

Главной спецификой эксплуатации аппаратов является их интенсивное загрязнение во время работы [2, 4]. Особенностью расчета теплообменного аппарата на некоторых позициях является низкое давление (температура) греющего пара, что приводит к высоким потерям давления в аппарате. Последнее обстоятельство влечет за собой увеличения числа пластин и, как следствие, к снижению скорости сока по нагреваемой стороне. Снижение скорости сока приводит к увеличению интенсивности загрязнения поверхности теплообмена. Для снижения интенсивности загрязнения поверхности были выбраны к установке в аппарате пластины *ML/MH*, обладающие более высоким гидравлическим сопротивлением по стороне сока и повышена величина запаса (*Margin*). Считается, что конденсация пара происходит примерно на одной трети в верхней части пластины, а на оставшейся части имеет место охлаждение конденсата. По мере загрязнения стенок пластин со стороны холодного теплоносителя (сахарного сока) будет происходить увеличение поверхности конденсации. Таким образом, теплообменники рассчитаны с запасом на предполагаемое загрязнение теплопередающей поверхности.

Выводы. Предложенный проект размещения теплообменных аппаратов позволяет увеличить мощность рекуперации с 5175,4 кВт до 6365,4 кВт, то есть достигается экономия 1190 кВт. Проведенная модернизация существующей схемы выпарной установки сахарного завода на основе принципов пинч-анализа с расчетом теплообменного оборудования и с учетом специфики тепловых потоков выпарной установки, показала, что предложенный проект модернизации весьма эффективен и может быть реализован в реальных условиях.

Список литературы: 1. *Товажнянский Л.Л.* Реконструкция тепловой схемы сахарного завода с использованием пластинчатых теплообменных аппаратов / *Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин* // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: ХДПУ. 2003. – №2. – С. 3–9. 2. Анализ работы пластинчатого подогревателя сахарного сока с учетом отложений // *О.П. Арсеньева, Т.Г. Бабак, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин* / Наук. пр. Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса: 2012. – 41. – Т. 2. – С. 173–177. 3. Практическая реконструкция системы подогревателей сахарного сока перед выпариванием // *Л.Л. Товажнянский, О.П. Арсеньева, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин* / Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2012. – №.2 – С. 99–102. 4. *Демирский А.В.* Анализ работы систем подогревателей сахарного сока с учетом загрязнений теплообменной поверхности / *А.В. Демирский, Л.Л. Товажнянский, О.П. Арсеньева, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин* // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПИ». 2013. – № 2. – С. 14–17. 5. Модернизация выпарной установки концентрирования сахарного сока / *Т.Г. Бабак, А.В. Демирский, И.Б. Рябова, А.Н. Оробей* // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Инновационные исследования в научных работах студентов. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2015. – № 7 (1116). – С. 95–102. 6. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 456 с.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ НАФТОХІМІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

Цапко Н.С., канд. техн. наук, доц., Сіроштан Ю.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Стаття присвячена питанню можливості використання відходів нафто- та газопереробки у виробництві портландцементу. Проведено аналіз існуючих екологічних проблем зберігання нафтошламів. Представлені основні результати дослідження складу відходів, а також розглянуто можливість їх використання у якості інтенсифікатора спікання у технології портландцементу. Описано технологію виробництва портландцементу та запропоновано склад сировинних сушішей з додаванням твердих відходів газопереробки. Наведено основні фізико-механічні властивості отриманих цементів. Доведено, що впровадження у виробництво розробленої технології отримання портландцементу є енергоефективним та сприяє вирішенню проблеми екологічної безпеки зберігання відходів нафто- та газопереробки.

Ключові слова: *нафтопромисловість, відходи, портландцемент, випал, технологія, властивості, інтенсифікатор, енергозбереження.*

Статья посвящена вопросу возможности использования отходов нефте- и газопереработки в производстве портландцемента. Проведен анализ существующих экологических проблем хранения нефтешламов. Представлены основные результаты исследования состава отходов, а также рассмотрена возможность их использования в качестве интенсификатора спекания в технологии портландцемента. Описана технология производства портландцемента и предложен состав сырьевых смесей с добавлением твердых отходов газопереработки. Приведены основные физико-механические свойства полученных цементов. Доказано, что внедрение разработанной технологии получения портландцемента в производство является энергоэффективным и способствует решению проблемы экологической безопасности хранения отходов нефте- и газопереработки.

Ключевые слова: *нефтепромышленность, отходы, портландцемент, обжиг, технология, свойства, интенсификатор, энергосбережение.*

The article focuses on the possibility of using waste oil - and gas processing in the production of Portland cement. The analysis of existing environmental problems of storage of sludge. The main results of studies of the composition of waste and discussed the possibility of their use as an intensifier sintering technology Portland. The technology of production of Portland cement and the proposed composition of the feed mixture with the addition of solid waste gas processing. The main physical and mechanical properties of the cement. It is proved that introduction of the developed technology of receiving a portlandsement in production is power effective and promotes a solution of the problem of ecological safety of storage of waste oil and gas processing.

Keywords: *oil industry, waste, Portland cement, roasting, technology, properties, enhancer, energy saving.*

Сучасний стан екологічної безпеки України диктує жорсткі вимоги до проблем утилізації промислових відходів, зокрема відходів нафто- та газовидобування. Нафтопромисловість в силу специфіки своєї діяльності є потенційно небезпечною для навколишнього середовища. Це обумовлено токсичністю вуглеводнів, що добуваються, та супутніх їм речовин, які використовуються в технологічних процесах та належать к 3–4 класам небезпеки.

У теперішній час абсолютна більшість країн Євросоюзу виявляють солідарність у тому, що потрібно уникати утворення відходів або використовувати їх для відновлення енергії та матеріалів, бо з екологічної та економічної точки зору це є оптимальним рішенням. Одним з пріоритетних напрямів іноваційних

трансформацій в екологічному напрямку в Україні є реформування діяльності по сбору та вторинній переробці відпрацьованих продуктів нафто- та газовидобування.

Світовий досвід доводить, що цементна промисловість є унікальним та ефективним утилізатором найширшого спектру техногенних відходів – від металургійних шлаків, зол ТЕЦ, опадів очисних споруд, відходів переробки сільхозпродукції, нафти, газу, відходів деревообробки й целюлозно-паперової промисловості до побутового мусору й зношених автомобільних покришок. Вартість утилізації відходів при цьому набагато нижче вартості їх знежкодження на спеціальних установках, які потребують значних капітальних й операційних витрат [1-7].

Переробку техногенних відходів в цементних печах широко використовують у всьому світі. На цементних заводах групи Holcim (Швейцарія), які на протязі останніх 3 років є найбільшим виробником цементу у світі, знаходить широке застосування використання горючих відходів у якості альтернативного палива. При цьому ступінь заміщення традиційних палив альтернативними в середньому складає 20 % [8].

Техногенні відходи не тільки утилізуються, але й використовуються в якості заміників сировинних матеріалів. Наприклад, цементна промисловість Японії визнана найменш енерговитратною у світі. По даним на 2010 р., при виробництві кожної тони японського цементу перероблюється 355 кг відходів [9].

В Україні утилізація відходів на цементному виробництві розвинена слабо й ведеться лише на окремих підприємствах, до числа яких належить ВАТ «Балцем» та ВАТ «Югцемент» [10-12].

Одним з істотних джерел забруднення навколишнього середовища України є нафтошлами. Під нафтошламами розуміють нафтовмісні відходи, що утворюються при видобуванні й підготовці нафти та природного газу, які не знайшли використання.

Накопичення та зберігання нафтошламів здійснюється у відкритих земельних резервуарах – нафтошламових амбарах різної конструкції. Ці шламонакопичувачі являють собою істотну загрозу екологічній безпеці, бо не тільки виводять величезні площі із земельного ресурсу, але й забруднюють ґрунтові води, навколишні земельні угіддя та повітря продуктами розпаду вуглеводнів, що складають основну частину нафтошламів. Крім того, шламонакопичувачі небезпечні в пожежному відношенні [16-17]. У зв'язку з ростом вимог до охорони навколишнього середовища проблема утилізації нафтошламів та ліквідації нафтошламових амбаров із року у рік набуває все більше значення.

Розв'язання проблеми зберігання нафтошламів можливе через розробку та впровадження технології використання відходів нафтохімії у якості альтернативного палива або як добавки до складу сировинної суміші при виробництві цементу.

Активізація іноваційного процесу в цій галузі на основі застосування технологій утилізації небезпечних речовин, які відповідні до світових стандартів, буде сприяти зменшенню екодеструктивного навантаження на навколишнє природне середовище й забезпечить вітчизняних товаровиробників високоякісним альтернативним паливом.

Для реалізації проекту по утилізації нафтовмісних відходів, що накопились на газовидобувних підприємствах України (зокрема, у Харківській області) необхідно розробити технологію використання вищеназваних відходів у виробництві портландцементу.

Як робочу гіпотезу висунуте припущення про те, що при нагріванні відходів газопереробки між мінеральними і органічними складовими відходів починаються реакції взаємодії, а продукти реакції інтенсифікуючи діють на реакції розкладання карбонату кальцію, що створює умови для протікання реакцій утворення двохкальцієвого силікату при більш низьких температурах, чим при звичайній технології випалу клінкера.

Технічним рішенням, що дозволяє усунути втрати хімічної енергії органічної складових відходів при збереженні переваг від використання відходів газопереробки при випалі клінкера, є використання відходів як компоненту сировинної суміші, що дозволить забезпечити повне спалювання органічної складової відходів, зменшити кількість викидів оксиду вуглецю з газами, що відходять, поліпшити використання хімічної енергії палива, підвищити техніко-економічні показники печі.

Проведені експериментальні дослідження з долучення рентгенофазового, диференційно-термічного та хімічного аналізу [18] дозволили зробити проміжні висновки, що представлені відходи газопереробки являють собою органомінеральну сировину, мінеральна складова якої складається, в основному, з NaCl , Fe_2O_3 , SiO_2 , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$ і CaSO_4 , а органічна – представлена твердими складовими нафтопродуктів, що вигорають при температурах до $600\text{ }^\circ\text{C}$. Доведено, що відходи газопереробки можуть бути використані в якості одного з компонентів сировинної суміші портландцементного клінкера в якості вигоряючої коригувальної добавки.

При отриманні портландцементу використовувались наступні сировинні матеріали: крейда; глина бура; піритні недогарки, в якості інтенсифікуючої добавки використовували твердий шлам переробки газового конденсату.

Для дослідження використовувались такі сировинні суміші:

- 1) портландцементна суміш без добавки;
- 2) портландцементна суміш з 5 мас. % добавки;
- 3) портландцементна суміш з 10 мас. % добавки.

Теоретично було визначено енергії активації розкладення CaCO_3 у кожній з наведених сумішей. В результаті проведених розрахунків встановлено, що введення у портландцементну сировинну суміш 5 мас. % добавки твердого шламу переробки газового конденсату знижує енергію активації розкладення CaCO_3 на $19,046\text{ кДж/моль}$, що може знизити температуру випалу цементного клінкера до $200\text{ }^\circ\text{C}$. Введення збільшеної кількості добавки (10 мас. %) не є ефективним, тому що вона знов підвищує енергію активації.

Фізико-механічні випробування отриманих цементів відбувалися за методикою М.І.Стрелкова у малих зразках [10].

Із проведених досліджень встановлено, що розроблені цементи відносяться до гідравлічних в'язучих матеріалів з водоцементним відношенням 0,27 – 0,34, терміном тужавіння – початок від 4 до 50 хв., кінець від 7 до 140 хв. – і мають марку „400”. Найкращі фізико-механічні властивості має портландцемент з 5% добавки твердого шламу переробки газового конденсату, який за своїми властивостями перевищує портландцемент без добавки. Крім того, температура випалу клінкеру такого цементу складала 1200 °С, на відміну від клінкеру портландцементу без добавки (1400 °С), що значно скорочує енерговитрати при випалі цементу.

Таким чином, розроблено технологію використання відходів нафтохімії у виробництві портландцементу. Встановлено, що введення 5 мас. % відходів газопереробки у сировинну суміш при випалі портландцементу є енергоефективним з точки зору інтенсифікації процесу клінкероутворення при більш низькій температурі. Зниження температури випалу клінкеру на 200 °С без втрат якісних показників портландцементу свідчить, що впровадження розробленої технології у промислове виробництво портландцементу є економічно доцільним з точки зору економії витрат на паливо.

Використання нафтохімічних відходів у вітчизняному цементному виробництві дозволить вирішити такі глобальні задачі, як захист навколишнього середовища від впливу небезпечних відходів; забезпечити раціональне використання нафторесурсів; уникнути додаткових витрат на ліквідацію наслідків від забруднення навколишнього середовища відходами нафтохімії та загалом підвищити рівень екологічної безпеки регіонів та країни в цілому.

Список літератури: 1. *Здоров А. И.* Внедрение энергосберегающих технологий на цементных заводах в Украине [Текст] / *А. И. Здоров* // Цемент. – 2013. – № 3 – С. 11–12. 2. *Фридман И. А.* Использование отходов углеобогащения и нефтехимии в производстве цемента [Текст] / *И. А. Фридман, М. Н. Бикбау, В. Е. Каушанский, Г. К. Варбашев* // Цемент. – 2009. – № 12. – С. 3–4. 3. *Бутт Ю. М.* Портландцементный клинкер [Текст] / *Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев.* – М.: Стройиздат, 1987. – 253 с. 4. Государственный научно-исследовательский институт «Укрдицемент» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ukrdicement.com/stati/k-probleme-utilizatsii-otchodov-v-tsementnoy-promishlennosti> 5. *Пащенко А. А.* Вяжущие материалы [Текст] / *А. А. Пащенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская.* – К.: Вища школа, 2005. – 304 с. 6. Большая Энциклопедия Нефти Газа [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id186040p1.html> 7. *Никифоров О.В.* Оборудование и технология цементной промышленности России [Текст] / *О.В. Никифоров* // Цемент и его применение. – 2008 – № 5. – с. 83 – 84. 8. *Хайдаров Р. Ф.* Нефтешламы. Методы переработки и утилизации: монография [Текст] / *Ф. Р. Хайдаров, Р. Н. Хусаев, В. В. Шайдаков, Л. Е. Каитанова.* – Уфа, 2003. – 74 с. 9. *Шубин В. И.* Цементная промышленность России. Проблемы производства и потребления цемента [Текст] / *В. И. Шубин* // Цемент и его применение. – 2004. – № 6. – С. 7–19. 10. *Ерохин Ю. Ю.* Утилизация нефтесодержащих отходов в цементных печах [Текст] / *Ю. Ю. Ерохин* // Цемент и его применение. – 2007. – № 6. – С. 9–14. 11. *Нагорнов С. А.* Повышение эффективности утилизации нефтешламов клинкера [Текст] / *С. А. Нагорнов, С. В. Романцова, В. В. Остриков* // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 1. – С. 31–32. 12. *Брызгина Е. Ю.* Утилизация нефтесодержащих отходов на цементном производстве [Текст] / *Е. Ю. Брызгина, Р. Р. Насыров* // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–6. – С. 1200–1202. 13. Химическая технология твердых горючих ископаемых [Текст] : учеб. пособие / под ред. *Г. Н. Макарова.* – М.: Химия, 1986. – 496 с. 14. Исследование процессов коксования отходов углеобогащения [Текст] / *В. Л. Приходченко, Е. А. Слащева, Н. В. Коваль* // Геотехническая механика. – 2010. – № 92. – С. 103–110. 15. Химическая технология вяжущих материалов [Текст]: учеб. / под ред. *В. В. Тимашева.* – М.: Высшая школа, 1980. – 375 с.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КЛТР ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА-4 ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Платков В.Я., докт. физ.-мат. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Калюжный А.Б., канд. техн. наук, доц.

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, Харьков, Украина)

Калюжный Б.Г. (ООО "Электротехмонтаж", Харьков, Украина)

Изучено влияние пористости фторопласта-4 на КЛТР в интервале температур от -150 до 100 °С. В интервале температур от 20 до 30 °С наблюдается максимум на температурной зависимости, связанный с фазовым переходом 2 рода.

Ключевые слова: пористый фторопласт-4, коэффициент линейного теплового расширения.

Вивчено вплив пористості фторопласта-4 на КЛТР в інтервалі температур від -150 до 100 °С. В інтервалі температур від 20 до 30 °С спостерігається максимум на температурній залежності, який пов'язаний з фазовим переходом 2 роду.

Ключові слова: пористий фторопласт-4, коефіцієнт лінійного теплового розширення.

The influence of porosity of PTFE-4 on the CTE in the range-tures from -150 to 100 °C. In the range of 20 to 30°C maximum is observed in the temperature dependence associated with the phase transition of two kinds.

Keywords: porous PTFE-4, the coefficient of linear thermal expansion

Полимерные фильтрующие элементы, выполненные на основе высокопористого фторопласта, благодаря своим физико-механическим характеристикам, успешно используются для фильтрации жидкостей и газов, термодинамические параметры которых могут существенно отличаться от нормальных. В частности, рекомендуемый диапазон температур при эксплуатации фильтров с полимерными фильтрующими элементами находится в диапазоне от -269 до 260° [1]. С учетом того, что монтаж фильтроэлементов в корпусе фильтра производится при нормальных температурных условиях, изменение температуры фильтроэлемента в процессе эксплуатации фильтра может достигать значительной величины. При таком изменении температуры могут существенно измениться линейные размеры фильтроэлемента. В частности, при фильтровании криогенных жидкостей, размеры фильтроэлемента могут измениться столь существенно, что может произойти нарушение герметичности соединения фильтроэлемента в месте уплотнения его в корпусе фильтра. В связи с этим, исследование изменения линейных размеров полимерных фильтровальных элементов с изменением температуры и определение коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР) высокопористого фторопласта являются весьма актуальной задачей.

Измерение КЛТР высокопористого фторопласта было проведено на кварцевом дифференциальном dilatометре с индукционным датчиком перемещения типа ПД-3 (рис. 1). Индукционный датчик перемещения представляет со-

бой преобразователь дифференциально-трансформаторного типа, на двух катушках которого намотаны обмотка возбуждения (1) и вторичная обмотка (2). Обмотка возбуждения состоит из двух секций W_1 и W_2^* , которые подключаются к источнику переменного стабилизированного тока частотой 50 Гц. Магнитный поток, возникающий при прохождении тока по обмоткам возбуждения, создает взаимную индуктивность во вторичных обмотках W_1 и W_2^* , величина которой зависит от положения плунжера-сердечника (3). Взаимоиндуктивности M_1 и M_2^* обмоток W_1 и W_2^* равны между собой при симметричном положении плунжера относительно катушек (магнитная нейтраль).

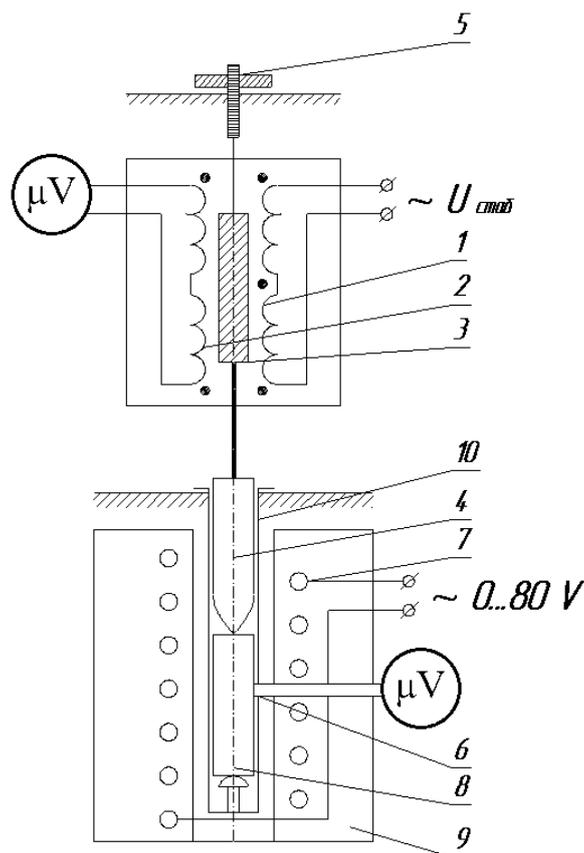


Рис. 1 – Принципиальная схема кварцевого дилатометра с индукционным датчиком

При смещении плунжера относительно магнитной нейтрали на концах вторичных обмоток возникает потенциал, пропорциональный величине смещения. Калибровка преобразователя ПД-3 производилась с помощью микрометрического винта и индикатора перемещения с точностью измерения 1 мкм. Собственный ход дилатометра в интервале температур минус 160 - 100 °С составлял менее 1 % от измеряемой величины абсолютного удлинения образца. Таким образом, точность измерения перемещения толкателя дилатометра 4 и жестко связанного с ним плунжера индукционного датчика составляет - 1 мкм, что полностью удовлетворяет требования ГОСТ 15173-70 [2].

Образец высокопористого фторопласта устанавливался между толкателем дилатометра и опорным столиком, а затем охлаждался с помощью жидкого

азота до температуры минус 190 °С. Температура измерялась в средней части образца медь-константановой термопарой 8. Затем производился нагрев образца и, после увеличения температуры образца на каждые 10 °С, измерялось его абсолютное удлинение. Равномерность нагрева образца (2,5 град/мин) обеспечивалась адиабатической оболочкой корпуса дилатометра и автоматической системой, выполненной на основе блока питания прибора ИТ-с-400. Погрешность измерений во всем интервале температур не превышала 10 %. В ходе предварительных измерений было отмечено, что при положительных температурах нагрузка на образец в виде толкателя дилатометра и плунжера индукционного датчика (~ 8 г) довольно значительно уменьшает КЛТР, что, очевидно, связано с ползучестью образца под данной нагрузкой. В связи с этим была предложена оригинальная система разгрузки, позволившая уменьшить нагрузку на образец до 0,5 г.

Для измерения КЛТР высокопористого фторопласта были использованы образцы в форме цилиндров высотой 50 мм и диаметром 10 мм, изготовленные по трем технологическим регламентам (I, II, III), структурные характеристики которых приведены в табл.1. Методика определения основных структурных характеристик приведена в [3].

Таблица 1

Основные структурные и фильтрационные параметры образцов фильтрующих материалов на основе фторопласта-4

Показатель	Номер технологического регламента		
	I	II	III
Объемная пористость, %	74	70	64
Средний диаметр пор, мкм	82	43	25
Тонкость фильтрации, мкм	20	5	1

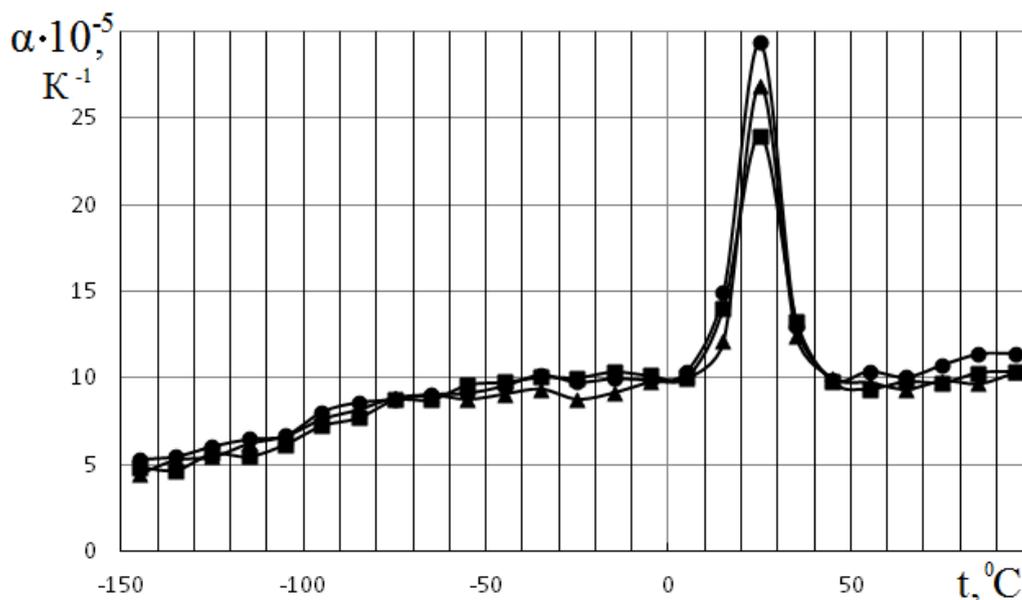


Рис. 2 – Зависимость КЛТР высокопористых фторопластов от температуры:

■ – регламент I; ▲ – регламент II; ● – регламент III

На рис. 2 приведены зависимости КЛТР от температуры для пористых фторопластов изготовленных по трем регламентам. Анализируя полученные зависимости КНТР образцов каждого технологического регламента от температуры, можно сделать следующие выводы: 1) В интервале температур $-150...-10^{\circ}\text{C}$ КЛТР образцов высокопористого фторопласта, изготовленных по различным технологическим регламентам практически совпадают. 2) В области температуры фазового перехода 2-го рода ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) наблюдается более значительное отличие КЛТР образцов высокопористого фторопласта, изготовленных по различным технологическим регламентам, причем его величина растет с увеличением компактности образца, то есть с уменьшением пористого и среднего диаметров пор образца. 3) При температурах выше 40°C значение КЛТР остается неизменным для пористых материалов изготовленных по различным технологическим регламентам.

Список литературы: 1. ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4. Технические условия. 2. ГОСТ 15173-70 Пластмассы. Метод определения среднего коэффициента линейного теплового расширения. 3. Structure and functional properties of high-porosity material based on Fluoroplast-4 / A.B. Kalyuzhny, T.L. Karpova, B.G. Kalyuzhny, V.Ya. Platkov // Functional Materials. – 1999. – Vol. 6, №2. – P. 25–30.

УДК 666.9-16

ЗАХИСНІ СКЛОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ ЗІ ЗНИЖЕНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Саввова О. В., докт. техн. наук,

Бабіч О. В., канд. техн. наук, **Топчий В.Л.**, пошукач

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця,
Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна)

The properties of various types of transparent glass ceramics were analysed and the application prospects of lithium- silicate glass and glass-ceramic materials based on it for armor elements were installed. Basic system and corrective additives for the synthesis of model glasses have been chosen. The mechanism of phase formation and the optimal regimes of the glass thermal treatment were determined, which consist in formation of volume-crystallized structure of glass with lithium disilicate and β -spodumene in the amount of 80 vol. %, which allows to provide its high mechanical properties. The influence of the composition and amount of the crystalline phase on mechanical properties of experimental materials are given. Developed glass-ceramics on the lithium disilicate basis can be used as an element of armor protection of special equipment.

Вступ. Одним з основних загальнонаціональних пріоритетів розвитку економіки України є раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів. Пріоритетна роль у вирішенні цього завдання відводиться енергозбереження в енергоємких виробництвах, зокрема, технології склокристалічних матеріалів. Саме створення конструкційних і функціональних склокристалічних матеріалів з особливими властивостями – високоміцних композитів на основі сита-

лової матриці, оптичного середовища на основі склокераміки з нанокристалічною структурою дозволить суттєво підвищити ефективність промислового сектору країни.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Аналіз досвіду розвинених країн показує, що одним з найбільш ефективних шляхів вирішення проблеми енергозбереження в технології склокристалічних матеріалів є зниження їх температур та тривалості варки та термічної обробки [1]. Особливо це є актуальним при створення надійних технологічних матеріалів для виготовлення елементів засобів захисту на основі високоміцних вогнестійких матеріалів нового покоління, які забезпечать підвищений рівень бронестійкості спеціальної техніки.

Вирішенням цієї проблеми є розробка прозорих бронематеріалів на основі дисилікатів літію, які поєднують одночасно високу механічну міцність [6], для забезпечення стійкості до дії енергоруйнуючих складових, та здатність поглинати і розсіювати ударні навантаження.

Тривалий час літійсилікатні стекла та склокристалічні матеріали на їх основі завдяки своїм винятковим фізико-хімічним властивостям знаходили широке застосування при одержанні стоматологічної порцеляни [1]. Зважаючи на можливість отримання з літійсилікатних стекел високоміцних склокристалічних матеріалів на основі дисилікатів літію з регульованими оптичними характеристиками, важливим завданням є встановлення ефективності їх використання як прозорої броні для деталей наземної та авіаційної техніки, а також для виготовлення інших видів портативного захисного спорядження [2, 3].

Однак, відомі високоміцні матеріали на основі системи $\text{Li}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ характеризуються достатньо тривалими строками стадій термічної обробки на етапі зародкоутворення кристалів (24÷170 годин) [4 – 7], що позначається на їх технологічності та вартості. Тому на сьогоднішній день актуальною задачею підвищення надійності захисту спеціальної техніки, яка експлуатується в умовах високих температур та механічних навантажень є розробка складів літійсилікатних матеріалів вказаного призначення в умовах короткотривалої низькотемпературної термічної обробки, що і склало мету даної роботи.

Проектування та розробка складів прозорих склокристалічних матеріалів для захисту спеціальної техніки. Для забезпечення високих значень міцності та в'язкості руйнування при одночасно низьких значеннях щільності та модуля пружності склокристалічних матеріалів може бути забезпечене шляхом проектування необхідного складу вихідних композицій стекел та формування в них в процесі низькотемпературної термообробки нано- та мікроструктури високоміцних кристалічних сполук, зокрема, дисилікату літія.

Високі показники світлопроникності можуть бути забезпечені за наступних умов:

- визначеного вмісту кристалічної фази;
- розмір кристалів <500 нм;
- відповідність показників заломлення аморфної і кристалічної фаз.

Для встановлення області існування вихідних матеріалів було обрано систему $\text{R}_2\text{O} - \text{LiF} - \text{CaF}_2 - \text{RO} - \text{RO}_2 - \text{R}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{SiO}_2$. В ній було обмежено

область в наступних концентраційних межах мас. %: $R_2O \Sigma$ (Na_2O , K_2O , Li_2O) – $13,2 \div 20,0$; LiF – $0,0 \div 3,5$; $RO \Sigma$ (MgO , ZnO) – $0,0 \div 7,0$; CaF_2 – $0,0 \div 2,5$; $RO_2 \Sigma$ (TiO_2 , ZrO_2) – $0,0 \div 11,0$; $R_2O_3 - \Sigma$ (Al_2O_3 , B_2O_3) – $0,0 \div 7,0$; P_2O_5 – $0,0 \div 3,48$; SiO_2 – $50,0 \div 71,8$ та синтезовано склади матеріалів серії СЛ. Крім того, до їх складу додатково вводили у мас. % MnO_2 – $0,0 \div 4,0$; CeO_2 – $0,0 \div 0,5$ та La_2O_3 $0,0 \div 5,0$.

Наявність Na_2O та K_2O в дослідних матеріалах дозволяє суттєво знизити їх температури варки та термічної обробки, а також, поряд з вмістом B_2O_3 та MnO_2 , зменшити щільність, що є важливою умовою одержання технологічних полегшених матеріалів. Для формування об'ємно закристиалізованої структури за ліквацийним механізмом до складу вихідних матеріалів було введено P_2O_5 та ZnO . Наявність P_2O_5 у структурі матеріалів дозволить зменшити деформацію та напруги, які виникають при поглинанні енергії удару. Введення CeO_2 сприятиме забезпеченню протікання нуклеації та утворення кристалічних фаз в області більш низьких температур, а також забезпечити прозорість матеріалів. Наявність La_2O_3 в стеклах позитивно позначиться на підвищенні показнику їх заломлення, що є важливою умовою при одержанні стекел з високими оптичними властивостями.

Роль каталізаторів кристалізації TiO_2 та ZrO_2 у структурі матеріалів полягає у прискоренні появи першої кристалічної фази, яка осаджується на їх зародках з формуванням тонкокристалічної структури. У результаті того, що каталізатори кристалізації, головним чином, залишаються в аморфній фазі, підвищується її коефіцієнт заломлення. Відповідність показників заломлення аморфної та кристалічної фази поряд з наявністю тонкодисперсних часток дисилікату літію у структурі дозволить забезпечити світлопроникність, хімічну стабільність та високі міцнісні властивості матеріалу.

Важливим фактором забезпечення високих міцносних властивостей є те, що при низькотемпературній кристалізації скло автоматично «обирає» першими ті фази, які найбільш легко змочуються склом, і, як наслідок, найбільш міцно зв'язані зі склом. В цілому утворюється значна кількість дрібних кристалів, які частково зростаються один з одним. В обраних стеклах саме кристалізація дисилікату літію дозволить забезпечити необхідні функціональні властивості.

Вибір режиму термічної обробки для матеріалів базувався на результатах проведених досліджень: I стадія – $520 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 год.; II стадія – $620 \text{ }^\circ\text{C}$, 4 год.; III стадія – $800 \text{ }^\circ\text{C}$, 4 год.

Збільшення витримки при температурі $520 \text{ }^\circ\text{C}$ до 10 годин призводить до формування густої сітки плоских кристалів дисилікату літію розміром $0,5 \div 1,0$ мкм, пов'язаних кінцями один з одним та розміщених під кутом та кристалів плоского призматичного габітусу, пов'язаних кінцями один з одним, що характерні для β -сподумену.

Розроблені склокристалічні матеріали характеризується високими експлуатаційними властивостями (модуль пружності 93 ГПа, в'язкість руйнування $3,0 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, твердість за Віккерсом 8,4 ГПа), низькою уявною щільністю $2,450 \text{ г/см}^3$ та зниженою собівартістю за рахунок низькотемпературної термічної обробки. Зовнішній вигляд пластини склокристалічного матеріалу після термічної обробки наведено на рисунку.



Рисунок – Зовнішній вигляд пластини склокристалічного матеріалу на основі дисилікату літію після термічної обробки

Висновки. У результаті проведених досліджень надано області застосування літійсилікатних стекол та встановлено перспективність їх використання як елементів підвищення надійності захисту спеціальної техніки. Обґрунтовано вибір вихідної літійалюмосилікатної системи $R_2O - LiF - CaF_2 - RO - RO_2 - R_2O_3 - R_2O_5 - SiO_2$. та обмежено області в них для синтезу модельних стекол серій СЛ на основі дисилікату літію або β -сподумену. Досліджено механізм кристалізації літійсилікатних стекол в умовах термічної обробки. Визначено технологічні параметри одержання високоміцних полегшених склокристалічних матеріалів, а також режими низькотемпературної термічної обробки, необхідні для формування тонкокристалічної взаємозв'язаної структури.

Встановлено, що розроблені склокристалічні високоміцні полегшені матеріали, які характеризуються високими експлуатаційними властивостями за рахунок формування ситалізованої структури скла з наявністю дисилікату літію, можуть бути використані як основа при розробці прозорої броні для деталей наземної техніки.

Список літератури: 1. Тимошенко М. В. Керамические материалы : учебно-метод. пособие / М. В. Тимошенко. – Минск : БГМУ, 2008. – 27 с. 2. Rudoi B. L. Pat. 4473653, USA. Ballistic-resistant glass-ceramic and method of preparation / B. L. Rudoi. – 1984. 3. Darrant J. G. Pat. 2379659, GB. Making a transparent glass-ceramic armour / J. G. Darrant, Ch. Thompson; Alstom Inc. – 2003. 4. Pinckney L. R. Pat. 7875565, USA. Transparent glass-ceramic armor / L. R. Pinckney, Jian-Zhi Jay Zhang, C. F. Cline; Corning Inc. – 2011. 5. Структурные превращения в стеклах при повышенных температурах: научное издание / Ин-т химии силикатов АН СССР ; ред.: Н. А. Топонов, Е. А. Порай-Кошиц. – М.–Л.: Наука, 1965. – 259 с. 6. Ramisetty M. Transparent polycrystalline cubic spinels protect and defend / M. Ramisetty, S. Sastri, U. Kashalikar, L. M. Goldman [et.al] // American Ceramic Society Bulletin. – 2013. – Vol. 92, № 2. – P. 20–25. 7. Инструкция по применению Chairside. Официальный сайт компании «Ivoclar Vivadent» <http://www.ivoclarvivadent.com/zooluwebsite/media/document/7881/IPS+max+CAD+Chairside>, 21.10.2016

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Шабанова Г.Н., докт. техн. наук, проф.,

Корогодская А.Н., докт. техн. наук, ст. научн. сотр.,

Гапонова Е.А., канд. техн. наук, доц., **Нагорный А.О.**, канд. техн. наук, доц.,

Ворожбиян Р.М., канд. техн. наук, ассистент

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Христинич Е.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель

(Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина)

Представлены результаты установления возможности использования отходов химической отрасли промышленности, которые могут частично или полностью заменить исходные компоненты при производстве специальных глиноземистых цементов. Обоснована необходимость рекуперации таких отходов с точки зрения охраны окружающей среды.

Ключевые слова: специальные цементы, ресурсосберегающая технология, отходы водоочистки, отработанные катализаторы, физико-механические свойства.

Представлено результати визначення можливості використання відходів хімічної галузі промисловості, які можуть частково або повністю замінити вихідні компоненти при виробництві спеціальних глиноземних цементів. Обґрунтовано необхідність рекуперації таких відходів з точки зору охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: спеціальні цементи, ресурсозберігаюча технологія, відходи водоочищення, відпрацьовані каталізатори, фізико-механічні властивості.

The results establish the possibility of using the chemical industry waste, which can replace the original components partially or completely in the production of special aluminous cements. Justification of the need for recovery of such waste from the point of view of environmental protection.

Keywords: special cements, resource-saving technology, water treatment waste, spent catalysts, physical and mechanical properties.

Растущие требования к вяжущим материалам и разнообразие условий, в которых они используются, заставляют искать новые, нетрадиционные решения для получения цементов специального назначения. В связи с этим актуальным является создание новых энерго- и ресурсосберегающих технологий для синтеза материалов специального назначения.

Анализ экологической ситуации в Украине показывает необходимость рекуперации твердых отходов химических производств, не только загрязняющих окружающую среду, но и занимающих значительные хозяйственно важные площади. На многих промышленных предприятиях Украины накапливаются токсические отходы, которые по своему химическому составу могут быть использованы в качестве исходного сырья при производстве строительных материалов, в частности, цементов специального назначения с комплексом заданных свойств. В связи с вышеизложенным, создание новых ресурсо- и энергосберегающих технологий полифункциональных вяжущих материалов является актуальным. Внедрение новых технологий позволит не только улучшить экологическую обстановку в стране, но и сэкономить дорогостоящие сырьевые материалы.

На ПАО «Концерн Стирол» (г. Горловка, Донецкая обл.) образовалось более 20 тыс. тонн отходов водоочистки, образовавшихся в результате очистки сточных вод химическим методом нейтрализации. Сточные воды, содержащие неорганические (минеральные) примеси и щелочи необходимо очищать перед сбрасыванием их в водоемы или перед использованием их в технологическом процессе методом нейтрализации. Нейтральными считаются воды с $\text{pH} = 6,5\text{--}8,5$.

Нейтрализацию можно проводить разнообразными способами: смешиванием кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрацией кислых вод сквозь нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами.

Для нейтрализации кислых вод могут использоваться NaOH , KOH , Na_2CO_3 , NH_4OH (аммиачная вода), CaCO_3 , MgCO_3 , доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Наиболее широко распространенным реагентом является гидроксид кальция с содержанием активной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 5–10 масс. %.

При нейтрализации щелочных сточных вод используются газы, содержащие CO_2 , SO_2 , NO_2 и другие. После нейтрализации основным компонентом осадка является углекислый кальций.

С помощью физико-химических методов анализа были проведены исследования фазового и химического состава отходов водоочистки ПАО «Концерн Стирол». По данным заводской лаборатории химический состав отходов следующий, масс. %: CaCO_3 – 75,0–85,0; MgCO_3 – 3,0–9,0; Fe_2O_3 – 4,5–8,5; CaSO_4 – 1,5–3,0; SiO_2 – 5,0–9,0. Содержание остальных компонентов не превышает уровня, допустимого при производстве вяжущих материалов, и не будет значительно влиять на получаемый минералогический состав.

Аналогичные отходы накапливаются также при очистке речной воды методом декарбонизации (удаление солей временной жесткости) на ЧАО «Северодонецкое объединение Азот». Данный отход хранится в шламонакопителе, который находится на территории цеха внешнего водоснабжения. Шламонакопитель находится в эксплуатации с 1979 г., имеет глубину 6–7 м, общую площадь ~ 8,6 га, общий объем – 474 900 м³, заполнен на 75 %. На данный момент объем заполнения составляет 300 000 м³, выработка шлама при работе очистительных сооружений составляет 4,811 т в сутки.

Шлам, полученный при реагентной очистке природных вод на ЧАО «Северодонецкое объединение АЗОТ», был исследован с помощью комплекса физико-химических методов анализа. Рассматриваемый осадок отличается высоким содержанием элементов кальция, магния и железа, содержание которых в расчете на оксиды достигает 75 %, что позволяет использовать его при производстве специальных цементов.

По результатам рентгенографического анализа установлено, что основной фазой шлама водоочистки является кальцит, содержание которого достигает 90 масс. %. В качестве примесей установлено наличие кварца и доломита. Шлам водоочистки мелкодисперсный, удельная поверхность, измеренная методом воздухопропускания, составляет 1200 м²/кг. Это позволит уменьшить затраты на помол шлама в отличие от другого аналогичного сырья. Естественная влажность материала 50 %, что позволяет подготавливать сырьевую смесь мокрым способом.

Завод «Химреактивы» НПО «Институт монокристаллов» (г. Харьков) осуществляет выпуск аминокaproновой кислоты. При синтезе указанной кислоты в качестве исходного сырьевого компонента используется бариевая соль аминокaproновой кислоты, из которой осаждают углекислый барий, затем отходы подвергаются сушке («Промышленный регламент на производство аминокaproновой кислоты»). При производстве 1 кг аминокaproновой кислоты образуется 4 кг токсичных отходов, которые представляют собой порошок белого цвета с незначительными желтыми и черными вкраплениями (СТП 88.0205091.092-95). Исследование отходов физико-химическими методами анализа позволило определить, что основным компонентом отходов производства аминокaproновой кислоты является карбонат бария, его содержание достигает 95,5 масс. %, наблюдается также присутствие незначительного количества (3–4 масс. %) β -глинозема. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что токсичные отходы производства аминокaproновой кислоты могут быть использованы в качестве основного сырьевого компонента для производства высокопрочных барийсодержащих защитных материалов.

Помимо отхода водоочистки на ЧАО «Северодонецкое объединение Азот» образуются и другие химико-технологические отходы, которые представляют интерес для технологии вяжущих материалов, такие как отходы носителей катализаторов, которые используются в паровоздушной (реже – паровой) конверсии метана. Срок службы данных катализаторов в среднем 2 – 4 года. За один цикл производства используют 20,3 – 30 м³ катализатора в зависимости от типа реактора и мощности установки.

Отработанный носитель никелевого катализатора ГИАП 3-6 содержит 80 масс. % Al_2O_3 и 20 масс. % NiO , а отбракованный носитель катализатора К-905 Д2 содержит 89 – 96,5 масс. % Al_2O_3 и 3,5 – 11 масс. % NiO . Исходя из химического состава, данные отходы носителя катализатора могут быть введены в состав сырьевой смеси вяжущего вместо технического глинозема Г-00 (ДСТУ 69-12-94). Использование носителя катализатора в технологии ресурсоэнергосберегающих вяжущих позволит поднять уровень производства глиноземистого цемента на более рентабельный и менее ресурсозатратный по отношению к прежним технологиям.

Катализатор ГИАП-14С представляет собой крупнопористый корундовый носитель (цилиндры 15×15 мм), пропитанный 5 масс. % Cr_2O_3 . После отработки и невозможности регенерации данный катализатор содержит до 8 масс. % Cr_2O_3 , остальное составляет β -глинозем, что позволяет использовать данный отход в качестве одновременной замены как алюминий-, так и хромсодержащего сырьевого материала при получении преимущественно высокоглиноземистых составов.

В результате получения и исследования строительных материалов специального назначения с использованием в качестве исходных сырьевых материалов отходов различных отраслей химической промышленности установлено, что они обладают комплексом заданных свойств. Так, цементы, полученные на основе отходов, являются как гидравлическими, так и воздушными вяжущими материалами. Физико-механические свойства таких материалов изменяются в широких

пределах: водоцементное отношение – 0,12 – 0,25; начало схватывания – от 50 мин. до 1 ч. 50 мин., конец схватывания – от 2 ч. 15 мин. до 3 ч. 25 мин.; прочность при сжатии после 3 суток твердения – 30 – 60 МПа; прочность при сжатии после 28 суток твердения – 50 – 85 МПа. Кроме того, полученные материалы обладают комплексом специальных свойств: огнеупорность – 1600 – 1800 °С, расчетный коэффициент массового поглощения $\mu = 200-280 \text{ см}^{-1}$, коэффициент сульфатостойкости после 6 месяцев твердения в агрессивной среде – 1,1 – 1,2.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что разработанные технологии получения строительных материалов специального назначения на основе отходов химической промышленности является ресурсо- и энергосберегающей. Внедрение разработанной технологии позволит значительно улучшить экологическую обстановку в промышленных регионах Украины, сэкономить дорогостоящие и дефицитные сырьевые материалы, что позволит существенно снизить себестоимость готовой продукции.

УДК 331.45

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ І БЕЗПЕКИ РОБОЧОГО МІСЦЯ

Протасенко О.Ф., канд. техн. наук, доц.,

Северинов О.В., канд. екон. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто проблему оцінювання якості організації та безпеки робочого місця, виявлено наявні недоліки. Серед існуючих методів обрано ті, які мають найбільшу інформативність. Запропоновано вдосконалити ергономічну оцінку системи «людина-техніка-середовище» за рахунок застосування елементів системи Елмері та методу Файн-Кінні.

Ключові слова: безпека, працівник, робоче місце, професійний ризик, системи Елмері, метод Файн-Кінні.

Рассмотрена проблема оценки качества организации и безопасности рабочего места. Среди существующих методов выбраны те, которые имеют высокую информативность. Предложено усовершенствовать эргономическую оценку системы «человек-техника-среда» за счет применения элементов системы Элмери и метода Файн-Кинни.

Ключевые слова: безопасность, работник, рабочее место, профессиональный риск, система Элмери, метод Файн-Кинни.

The problem of evaluation of quality organization and safety at workplace considered, identified shortcomings. Among the existing methods and techniques of evaluation selected those that have the greatest informative value and can form the basis for further work.

Key words: safety, employee, workplace, professional risk, Elmer's system, Fine-Kinney method.

У сучасному світі роль людини як суб'єкта праці й керування постійно зростає. Людина несе колосальну відповідальність за ефективну роботу і безпеку всієї технічної системи і допущена нею помилка може призвести до тяжких наслідків, тому на сьогодні найбільш ефективним способом попередження таких випадків вважається підвищення автоматизації виробництв, що поступово

приведе до зниження ролі оператора в системі «людина-техніка-середовище», тобто до мінімізації кількості аварій через людський фактор. Проте практичний досвід застосування автоматизації показує інші результати:

– по-перше, суттєво знижувати роль людини в системі «людина-техніка-середовище» не можна, оскільки завжди існує ймовірність виникнення аварійних режимів роботи, за яких керуючі дії (для мінімізації негативних наслідків) повинен виконувати саме працівник, а не технічний пристрій;

– по-друге, автоматизація призводить не до спрощення діяльності працівника, а, навпаки, до підвищення вимог, що пред'являються до нього (рівень знань працівника, досвід роботи, здатність працювати в стресових умовах та інші).

Крім того, діяльність людини в умовах автоматизованого виробництва пов'язана ще й з високою точністю її дій в прискореному темпі протягом тривалого часу. Також не варто забувати й про індивідуальні особливості кожної людини, які при проектуванні та впровадженні автоматизованих виробництв майже не враховуються, хоча цей фактор є чи не головним в аварійних ситуаціях, коли від рішення про подальші дії залежить не тільки власна безпека, а й багатьох інших людей. Таким чином, зворотна сторона автоматизації виробництв – виникнення аварій, головною причиною яких є людський фактор, тому на сьогодні проблема підвищення безпеки робочих місць залишається актуальною. Для її ефективного вирішення важливу роль має оцінка якості організації і безпеки робочого місця, що дозволить максимально точно ідентифікувати найбільш небезпечні фактори діяльності працівника і на підставі цього розробити ефективні заходи і засоби їх попередження та нейтралізації.

Існуючі методи оцінки якості організації і безпеки робочого місця (атестація робочих місць за умовами праці, ергономічна оцінка системи «людина –

техніка

1) середовище», система Елмері, метод Файн-Кінні, оцінка ризиків на робочому місці (за технологією Мерві Муртонен) та ін.) мають такі загальні недоліки:

– складність їх практичної реалізації, зумовлена тим, що: по-перше, у більшості випадків необхідно проводити попередню підготовчу роботу, по-друге, запрошувати сторонніх фахівців, по-третє, для проведення повного комплексу робіт з оцінювання потрібно досить багато часу. Все це у сукупності знижує зацікавленість як роботодавця, так і працівника у проведенні такої оцінки;

2) наявність помилок, які виникають через те, що запрошені фахівці про деякі небезпеки та їх вплив на людину мають теоретичне, а не практичне уявлення;

3) низький рівень залучення працівника до проведення оцінки, аналізу її результатів та вибору заходів і засобів з підвищення безпеки.

Все це обумовлює необхідність пошуку шляхів вдосконалення методів оцінки якості організації і безпеки робочого місця. Для досягнення цієї мети треба спробувати поєднати елементи різних систем оцінки якості організації робочого місця в загальну систему.

Базовою системою має стати схема ергономічної оцінки робочого місця, оскільки номенклатура показників, які використовують для ергономічної оцінки системи «людини – техніка – середовище», є відкритою, тобто вона може бути доповнена. Додатковими пунктами в цій схемі мають стати елементи з анкети, яку застосовують в методі Елмері, оскільки в ній є важливі складові, які не враховано в схемі. Крім того, до цієї системи необхідно додати складові для оцінки індивідуального ризику з методу Файн-Кінні, що дозволить підвищити точність кінцевої оцінки якості організації та безпеки робочого місця. Запропонований варіант оцінки якості організації і безпеки робочого місця апробовано на таких робочих місцях: операціоністи банківських відділень, працівники відділу кадрів і бухгалтерії кількох підприємств. Проведення досліджень на поточний момент дало такі результати:

– по-перше, розширення переліку характеристик робочого місця і умов праці дало можливість детально проаналізувати робоче місце з різних позицій. У початкових варіантах ергономічної оцінки системи «людина – техніка – середовище» і системи Елмері не всі важливі характеристики було представлено. Наприклад, характеристика «наявність аварійної сигналізації та засобів спасіння» в системі Елмері враховано, а в ергономічній оцінці – ні, хоча для створення комфортних і безпечних умов праці цей фактор важливий. Таким чином, принцип відкритості схеми ергономічної оцінки дозволив розширити і вдосконалити перелік характеристик;

– по-друге, застосування ергономічних показників і складових професійного ризику дозволило не тільки визначити негативні характеристики робочого місця і умов праці, а й оцінити їх важливість для забезпечення безпеки працівника, тобто визначити черговість проведення заходів з підвищення безпеки. Наприклад, характеристики «психоемоційне напруження в роботі» і «соціально-психологічний клімат у колективі» за ергономічною оцінкою мають однаково низьку бальну оцінку, однак рівень професійного ризику різний – у першому випадку він можливий, а другому – прийнятний. Отже, пріоритетним у цьому випадку є застосування заходів зі зниження психоемоційного напруження в роботі працівників;

– по-третє, важливим моментом у проведенні роботи стало те, що оцінку якості організації і безпеки робочого місця проводив безпосередньо працівник, але за участю фахівців з охорони праці. Цей факт важливий, оскільки, працівник, на відміну від зовнішніх експертів, знає свою діяльність і робоче місце з практичної сторони, а не з теоретичних позицій, проте в нього все ж таки можуть виникати певні труднощі при виконанні оцінки, що, зазвичай, пов'язано з браком професійного досвіду. Наприклад, аналіз результатів анкетування показав, що працівник з досвідом роботи до одного року більшості характеристик поставив вищі бали, а професійні ризики, навпаки, занизив.

Наведені висновки за проведеною роботою є проміжними, оскільки роботи з апробації запропонованого варіанту оцінки якості організації і безпеки робочого місця тривають. На цьому етапі роботи очевидно, що представлена система оцінювання потребує деяких доопрацювань, проте якими саме вони будуть визначать подальші дослідження.

Список літератури: 1. Суходольный Г. В. Эргономика / Г. В. Суходольный. – Л.: ЛГУ, 1988. – 132 с. 2. Федорец А. Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков / А. Г. Федорец // [Энергобезопасность в документах и фактах. – 2008. – №2.](#) – С. 10-16. 3. Муртонен М. Оценка рисков на рабочем месте – практическое пособие / М. Муртонен. – М.: Субрегиональное бюро МОТ для стран Восточной Европы и Центральной Азии, 2007. – 64 с. 4. Kinney G. F. Practical Risk Analysis For Safety Management (No. NWC-TP-5865) / G. F. Kinney, A. D. Wiruth. – China Lake : Naval Weapons Center China Lake CA., 1976. – 26 p. 5. Пособие по наблюдению за условиями труда на рабочем месте в промышленности. Система Элмери / Х. Лайтинен, П. Л. Раса, Т. Ланкинен и др. // Охорона праці: наукововиробничий журнал. – 2012. – N 8. – С. 42-53. 6. Коцюбинська Н. В. Охорона праці в галузі: навч. посіб. / Н. В. Коцюбинська, Н. А. Денисова. – Алчевськ : ДонДТУ, 2013. – 304 с. 7. Протасенко О.Ф. Робочий зошит з навчальної дисципліни «Безпека життєдіяльності» для студентів усіх напрямів підготовки денної форми навчання / О. Ф. Протасенко, А. А. Івашура. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2014. – 200 с.

УДК 331.45

ЕКОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

Протасенко О.Ф., канд. техн. наук, доц., **Івашура А.А.**, канд. с.-г. наук, доц.
(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

*Розглянуто проблему екологічної безпеки працівника. На підставі аналізу наявних на-
працювань запропоновано визначення поняття «екологічне середовище на робочому місці».
Розроблено метод оцінювання екологічного середовища на робочому місці.*

Ключові слова: екологічна безпека, робоче місце, працівник.

*Рассмотрена проблема экологической безопасности работника. На основании анали-
за имеющейся информации предложено определение понятия «экологическая среда на рабо-
чем месте». Разработан метод оценки экологической среды на рабочем месте.*

Ключевые слова: экологическая безопасность, рабочее место, работник.

*An ecological safety problem of a worker is considered. A definition of the concept «ecolog-
ical environment in a workplace» is represented which based on the analysis of available infor-
mation. A method of evaluation of ecological environment in the workplace is developed.*

Key words: environmental safety, workplace, worker.

На сьогодні одне з важливих питань у створенні безпечних умов праці людини – забезпечення її екологічної безпеки. Саме тому більшість об'єктів і предметів, з якими взаємодіє людина (технічні пристрої, обладнання, транспорт та інше), повинні відповідати вимогам екологічної безпеки. Серед цих вимог найбільш важливою є забезпечення безпечного середовища (інакше кажучи, *екологічного середовища*) на робочому місці, оскільки має суттєвий вплив на розвиток підприємства. За фактом інвестиційна привабливість сучасного виробництва безпосередньо залежить від його екологічної політики [1]. Аналіз даних щодо результатів реалізації екологічної політики на підприємствах показав, що найбільшого успіхи у цьому питанні досягли ті з них, які у своїй роботі забезпечують не тільки виявлення та зменшення негативного впливу діяльності об'єкта на навколишнє середовище, а й екологічну безпеку працівників на ро-

бочих місцях. І це закономірно, оскільки людина – це головний елемент забезпечення діяльності будь-якого підприємства, а, отже, її комфорт і безпека на робочому місці створюють необхідне підґрунтя для результативної роботи [2 - 4]. Проте не завжди вдається створити максимально безпечне екологічне середовище, що обумовлено відсутністю чітко сформованих вимог до його забезпечення, тому підприємствам часто доводиться діяти у цьому питанні інтуїтивно. Таким чином, на сьогодні набуває актуальності питання дослідження й оцінювання якості екологічного середовища на робочому місці, що дозволить, з одного боку, сформулювати певний перелік вимог до нього, а з іншого, виявити наявні проблеми в його організації і тим самим підвищити безпеку.

У вирішенні зазначеного питання почати потрібно з визначення поняття *екологічне середовище на робочому місці*. Огляд напрацювань у цій сфері показав, що чіткого визначення цього поняття на сьогодні немає. Проте є поняття близькі за змістом, які можна застосувати у якості базових, наприклад, екологічність, екологія робочого простору та інші. На підставі аналізу базових понять запропоновано таке визначення: *екологічне середовище на робочому місці – стан робочого місця, при якому його елементи і характеристики відповідають сучасним технічним і екологічним стандартам і не справляють на людину негативного впливу, який може погіршувати її здоров'я та/або частково порушувати екологічну комфортність*.

Необхідно зазначити, що наведене визначення, не є остаточним і потребує подальшого дослідження і вдосконалення, оскільки досліджувана проблема хоча і не нова, проте не надто глибоко вивчена.

Наступний крок – розроблення методу оцінювання *екологічного середовища на робочому місці*. З цією метою здійснена систематизація основних елементів і характеристик робочого місця, оцінювання яких необхідно провести. Для кількісної оцінки елементів і характеристик застосована бальна оцінка у межах від 1 до 5 балів. При цьому 1 бал – найбільш негативна оцінка, 5 балів – найвища оцінка. Узагальнений приклад (наведено кілька елементів і характеристик робочого місця) оцінювання екологічного середовища на робочому місці наведено в табл. 1. При оцінюванні в таблиці необхідно обвести бали, які відповідають представленому опису елементів і характеристик робочого місця. Наприкінці таблиці підрахувати загальну кількість балів за всіма елементами і характеристиками робочого місця і на підставі цього оцінити екологічне середовище на робочому місці.

Важливою умовою при оцінюванні екологічного середовища є те, що цю роботу повинен виконувати безпосередньо працівник, але за участю фахівців з екологічної безпеки. Це пов'язано з тим, що, з одного боку, працівник, на відміну від запрошених експертів, знає свою діяльність і робоче місце з практичних позицій, а не з теоретичних, з іншого боку, інколи для одержання коректних результатів оцінювання працівнику бракує специфічних знань або професійного досвіду, тому виникає потреба у консультаціях. Загалом зазначений підхід дозволяє:

– працівнику одержати узагальнене уявлення про екологічну якість елементів і характеристик робочого місця, з яким він контактує під час роботи;

- експерту більш точно оцінити ступінь негативного впливу елементів і характеристик робочого місця на здоров'я працівника;
- спільно працівнику і фахівцю визначити найбільш ефективні напрямки підвищення екологічної безпеки.

Таблиця 1

Оцінювання екологічного середовища на робочому місці

№ п/п	Елементи і характеристики робочого місця	Оцінка, бали
1	2	3
1	Екологічність будівлі:	
	бетонна конструкція;	5
	цегляна конструкція;	4
	шлакоблочна будівля.	3
2	Комп'ютер:	
	монітор рідкокристалічний;	5
	ноутбук, планшет;	4
	монітор з електронно-променевою трубкою.	1
3	Робочий стіл зроблений з:	
	дерева;	5
	МДФ;	4
	ДСП, ДВП.	3
4	Робоче крісло зроблено з:	
	комбінованих матеріалів (шкіра натуральна + метал);	5
	комбінованих матеріалів (шкіра штучна + метал);	4
	комбінованих матеріалів (тканина + метал);	3
	пластика.	2
5	Меблі зроблені з:	
	дерева;	5
	МДФ;	4
	ДСП, ДВП;	3
	пластика.	1
Загальна сума балів:		
Оцінювання екологічного середовища на робочому місці: сума балів від 19 до 30 – низький рівень; сума балів від 31 до 43 – середній рівень; сума балів від 43 до 55 – високий рівень.		

Список літератури: 1. Ульянова Е. А. Идентификация и оценка значимости экологических аспектов на промышленных предприятиях / Е. А. Ульянова, И. Л. Манжуров, И. Я. Габова // Известия Самар. науч. Центра Рос. академии наук. – 2011. – Т. 13. – №1. – С. 2089–2093.

2. Мигаль Г. В. Проблемы экологического проектирования среды жизнедеятельности человека / Г. В. Мигаль, О. Ф. Протасенко // Безпека людини у сучасних умовах: матер. III Міжнар. наук.-метод. конф. – Харків, 2011. – С. 150–152.

3. Мигаль Г. В. Современный офис и здоровье человека / Г. В. Мигаль, О. Ф. Протасенко, К. В. Иноземцева // Безпека життєдіяльності людини: Зб. наук. пр. XI Міжнар. наук.-мет. конф. – Донецьк: ПП Лавіс, 2012. – С. 159–163.

4. Мигаль Г. В. Екологічність як складова біопозитивного способу життя / Г. В. Мигаль, О. Ф. Протасенко, К. В. Иноземцева // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства: матер. I Міжнар. наук.-практ. конф. – Львів: ЛДУ БЖД, 2012. – С. 48–51.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ КОРУНДОГРАФИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ ГРАДИЕНТНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЛИТ ШИБЕРНЫХ ЗАТВОРОВ

Логвинков С.М., докт. техн. наук, проф.,

Борисенко О.Н., канд. техн. наук, ст. преподаватель,

Попенко Г.С., канд. техн. наук, доц., **Кобзин В.Г.**, канд. техн. наук, доц.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Представлены наиболее значимые мероприятия по разработке градиентных составов корундографитовых плит шиберных затворов с учетом обеспечения максимальной экологической безопасности производства и рационализацией технико-экономических показателей.

Ключевые слова: корундографитовые огнеупоры, градиентный состав, шиберный затвор, экологическая безопасность.

Представлено найбільш значущі заходи з розробки градієнтних складів корундографітових плит шибєрних затворів з урахуванням забезпечення максимальної екологічної безпеки виробництва і раціоналізацією техніко-економічних показників.

Ключові слова: корундографітові вогнетриви, градієнтний склад, шибєрний затвор, екологічна безпека.

Presents the most important events on the development of gradient compositions corundographic plates slide gate with a view to ensuring maximum environmental safety of production and rationalization of technical and economic indicators.

Keywords: corundographic refractories, gradient composition, slide closure, environmental safety.

Своим рождением и развитием углеродсодержащие огнеупоры обязаны производству стали и совершенствованию соответствующей технологии. При этом основным фактором был и остается важнейшим на современном этапе – эффект отсутствия смачиваемости графита расплавами на основе железа.

Графит является аллотропной модификацией углерода и не лишен ряда негативных свойств, ограничивающих его индивидуальное использование в качестве основы для изготовления огнеупорных изделий массового применения. Графит существенно уступает по прочности, микротвердости и абразивоустойчивости всем видам тугоплавких оксидов, что обусловлено кристаллохимическими особенностями его слоистой структуры. Кроме того, из-за стратегического значения природных месторождений графита и дороговизны получения искусственного графита существует необходимость ограниченного его применения. Указанные обстоятельства стимулировали разработку композиционных материалов, в которых графит является лишь дисперсным наполнителем. Причем, традиционный обжиг для таких композитов исключается из-за способности графита к окислению.

Исторически первыми углеродсодержащими огнеупорами стали неформованные массы и изделия из глинографитовых композиций, которые приобретают окончательные свойства за счет спекания минеральной составляющей глинистого связующего.

Развитие составов происходило в направлениях модификации и типа связующего и типа заполнителей, но с неизменным участием определенной доли графита. Параллельно находились новые, наиболее рациональные условия службы конкретных видов углеродсодержащих материалов в различных изделиях металлургических агрегатов.

В настоящее время наиболее массово применяются периклазографитовые огнеупоры [1 – 4] для футеровки сталеплавильных агрегатов в зоне колебания зеркала расплава, а также корундографитовые материалы [1, 2, 5, 6] для изготовления особо ответственных изделий агрегатов внепечной обработки стали и сталеразливки.

Внедрение метода непрерывной разливки стали, и освоения процессов внепечной обработки стали осуществлялось и применением шибберных систем для надежного перекрывания струи расплава. Эти системы представлены целым комплексом оборудования, огнеупорных изделий, механизмов и вспомогательных агрегатов: шибберные затворы, привод и механизмы с подводной аппаратурой, шаблоны, мертеля, огнеупорные засыпки и др.

До 80-х годов прошлого века конструкция шибберных систем предусматривала применение затворов скользящего типа: в виде двух огнеупорных плит с коаксиальным отверстием в каждой, смещение плит до совпадения отверстий обуславливало открытие канала для струи расплава. При этом использовались обожженные плиты из традиционных огнеупорных материалов – периклаза, шпинели, муллита, муллитокорунда и др.

Следующий этап развития шибберных систем отмечался до начала 2000-х годов с применением затворов типа «книжка», в которых прижим плит осуществлялся упругими элементами в виде пружин, а корундографитовые материалы стали доминировать над разными другими огнеупорами для изготовления шибберных плит.

Настоящий этап в развитии шибберных систем характеризуется применением затворов типа «книжка» на тарельчатых или газонаполненных упругих элементах с возможностью автоматизации замены плит, имеющих сложнопрофильную обечайку из-за отхода от традиционной эллиптической или овальной формы плиты к формам типа «капелька» или «гроб», где тепловые напряжения равномерно распределены и учтено влияние степени сжатия плит на механизм распространения трещин.

При этом составы корундографитовых плит и рецептурно-технологические мероприятия постоянно совершенствуются.

Важно отметить экологически значимую тенденцию отказа производителей корундографитовых огнеупоров от применения в качестве связующего пека из-за его канцерогенности.

В тоже время определенный экологический риск представляют фенолформальдегидные смолы, которые нашли широкое распространение в технологии этих огнеупоров и являются токсичными из-за летучести свободных фенола и формальдегида в их составе.

Кроме того, определенная опасность предопределена многокомпонентностью и полифункциональностью составов шихт для производства плотных корундографитовых плит, а также необходимостью шлифовки их рабочих поверхностей. В частности, углеродсодержащий компонент плит формируется из исходных ингредиентов – чешуйчатый природный графит, кокс, отходы производства графитовых и углеграфитовых изделий, сажа, порошки сухих смол, а также из продуктов термодеструкции связующего, органических и металлоорганических функциональных добавок, синтезированных карбидных и оксикарбидных фаз.

Специальные добавки обеспечивают улучшение реологических свойств при формировании плит, повышение смачиваемости графита временным органическим связующим, снижение окисляемости углеродсодержащих ингредиентов, образование твердых растворов и продуктов химического взаимодействия, способных компенсировать объемные изменения при термообработке и повышающие коррозионную стойкость материала. При этом используют сложные органические соединения в различном агрегатном состоянии, металлические и оксидные дискретные волокна, ультра- и нанодисперсные порошки антиоксидантов и спекающих добавок.

В свою очередь, столь сложный состав и технология корундографитовых плит шибберных затворов стимулирует поиск возможности их удешевления при сохранении гарантированных эксплуатационных показателей. Одним из подобных решений является организация градиентности состава, когда рабочие поверхности плит и прилегающие слои изготовлены из базового состава, а оставшийся объем изделия – из совместимого с базовым, но менее дорогим из-за возможности применения отходов некоторых видов огнеупоров и менее дефицитных ингредиентов.

Список литературы: 1. *Кащеев И.Д.* Оксидноуглеродистые огнеупоры / *И.Д. Кащеев.* – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 265 с. 2. *Стрелов К.К.* Теоретические основы технологии огнеупорных материалов: учебное пособие для вузов. / *К.К. Стрелов, И.Д. Кащеев.* – М.: Металлургия, 1996. – 608 с. 3. *Кащеев И.Д.* Высокоэффективные огнеупоры в производстве стали / *И.Д. Кащеев* // Новые огнеупоры. – 2002. – № 2. – С. 34–35. 4. *Очагова И.Г.* Тенденции развития мировой огнеупорной промышленности / *И.Г. Очагова* // Новые огнеупоры. – 2004. – № 6. – С. 81–83. 5. *Логвинков С.М.* Твердофазные реакции обмена в технологии керамики: монография / *С.М. Логвинков.* – Х.: ХНЭУ, 2013. – 248 с. 6. *Логвинков С.М.* Бикерамические плиты шибберных затворов с применением табулярного глинозема в корундографитовом рабочем слое / *Логвинков С.М., Бражник Д.А., Корогодская А.Н., Кривцова Н.К., Остапенко И.А.* Збірник наукових праць ПАТ „УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного”. – № 111. – Харків: ПАТ «УкрНДІВ», 2011. – С. 37–46.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА МЕГАПОЛИСОВ

Гоков А. М., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник, доц.,
Деточенко И. Н., студентка

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)
e-mail: 19amg55@gmail.com

Рассмотрены основные факторы, которые могут быть источниками атмосферного электричества в мегаполисах. Показано, что мегаполисы оказывают часто существенное влияние в системе «Земля - приземная атмосфера - ионосфера», приводя к необратимым изменениям в ней. Проявление их в этой системе комплексное: они существенно влияют на экологическую обстановку, на распределение атмосферного электричества, на параметры глобальной электрической цепи, на тепловой баланс в атмосфере и ее динамику.

Ключевые слова: атмосферное электричество в мегаполисах, экологическая обстановка, ионосфера

Розглянуто основні фактори, які можуть бути джерелами атмосферної електрики в мегаполісах. Показано, що мегаполіси надають часто істотний вплив в системі «Земля - приземному атмосфера - іоносфера», приводячи до незворотних змін в ній. Прояв їх в цій системі комплексне: вони істотно впливають на екологічну обстановку, на розподіл атмосферної електрики, на параметри глобальної електричного кола, на тепловий баланс в атмосфері і її динаміку.

Ключові слова: атмосферну електрику в мегаполісах, екологічна обстановка, іоносфера

The main factors that can be sources of atmospheric electricity in megalopolises is considered. It is shown that metropolises often have a significant influence in a system "Earth - ground atmosphere - the ionosphere", leading to irreversible changes in it. The manifestation of their in the system is complex: they significant effect on the the ecological environment, on the distribution of atmospheric electricity, on the parameters of the global electric circuit, on the heat balance in the atmosphere and its dynamics.

Keywords: atmospheric electricity in metropolitan areas, the environmental situation, the ionosphere

Введение. Среди источников возмущений приземного электрического поля природного характера, которые часто оказывают существенное влияние на состояние среды обитания, являются мегаполисы. Известно, что в регионах природных катаклизмов (например, в регионах подготовки сильных землетрясений и т. д.), где обнаружены литосферно-атмосферно-ионосферные взаимодействия, кратковременно меняются параметры среды обитания (в частности, наблюдаются случаи нарушения физиологического состояния живых организмов, в том числе людей). По сравнению с такими источниками условия в мегаполисах отличаются длительностью действия факторов атмосферно-ионосферного взаимодействия. Влияние таких факторов в литературе не исследовалось с такой постановкой задачи, что делает актуальной задачу комплексного мониторинга приземной атмосферы как в, так и над мегаполисом. Согласно предварительным оценкам увеличение концентрации ионов до 10^5-10^6 см⁻³ в атмосфере над мегаполисом должно приводить к усилению напряженности

электрического поля в 2–3 раза. В связи с этим крайне важно провести измерения электрического поля в атмосфере над мегаполисом и наладить регулярный мониторинг для изучения, прогнозирования и учета влияния атмосферного электричества на экологическую обстановку и здоровье людей.

Основная часть. Экологические эффекты в мегаполисе связаны с: 1) массовыми выбросами в приземную атмосферу продуктов горения, включая выхлопные газы наземного транспорта (дыма, сажи, тяжелых металлов); 2) изменениями приземного атмосферного электрического поля; 3) генерацией и усилением электромагнитных и акустических волновых процессов; 4) загрязнением среды обитания в мегаполисе газопылевыми компонентами, обусловленными перечисленными ранее источниками. Рассмотрим кратко влияние таких факторов.

Выбросы в атмосферу продуктов горения и газопылевых компонентов. Наиболее существенные экологические последствия связаны с выбросами мелкой пыли, дыма, сажи включая выхлопные газы наземного транспорта, испарениями асфальтового покрытия дорог, тротуаров и крыш домов, которые, помимо прямого негативного воздействия на флору и фауну в мегаполисе, экранируют солнечное излучение. Сильные ветры, создавая вертикальную тягу, способствуют проникновению аэрозолей до высот стратосферы на большой площади. Пыль, дым и сажа приведут к сильному рассеянию и поглощению солнечного излучения. При этом образуется мощный поглощающий (экранирующий) слой. Масса аэрозолей может составлять ~ 1 – 10 кт. Время пребывания аэрозолей в стратосфере составляет десятки суток, что приводит к значительным экологическим последствиям. В результате экранирования солнечного излучения земная поверхность недополучит, например, за 10 суток около 10^{21} Дж энергии. Примерно такая же энергия выделится в атмосфере. Такие нарушения энергетического баланса имеют заметное значение для земной поверхности и для атмосферы, так как происходит изменение термического и динамического режимов атмосферы и характера взаимодействия атмосферы с земной поверхностью по сравнению с пространством вне мегаполиса. Важно, что проявление экологических последствий будет заметным (и часто существенным и необратимым) далеко за пределами мегаполиса и в течение длительного времени.

Изменения приземного атмосферного электрического поля. Изменения приземного атмосферного электрического поля в регионе мегаполиса будут приводить к изменениям проводимости слоя атмосферы вблизи поверхности Земли на значительной площади. Поскольку этот слой атмосферы имеет наибольшее сопротивление в глобальной электрической цепи, то будут иметь место возмущения электрических параметров этой цепи, которые приведут к ряду вторичных процессов в атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли. Последние, в свою очередь, влияют на околоземную среду в глобальных масштабах. Предсказать их влияние на среду обитания трудно, однако, не исключено, что оно может быть существенным.

Генерация и усиление электромагнитных и акустических волновых процессов. В результате генерации и усиления электромагнитных и акустических волновых процессов в мегаполисе поток мощности волнового излучения возрастает в десятки раз по сравнению с невозмущенными условиями. Суммарная

мощность такого излучения определяется долей η_a мощности P , преобразуемой в мощность акустического излучения P_a . Наблюдения показали, что в среднем $\eta_a \approx 0,3$ %. Например, согласно работе [1] поток мощности акустического излучения в естественных условиях составляет $\Pi_{a0} \approx 0,3 - 1$ мВт/м². При площади отдельного источника около 10^4 м² величина мощности $P_{a0} = \Pi_{a0}S = 3 - 10$ Вт. Если для оценки взять площадь мегаполиса в 300 км², то мощность акустического излучения составит около $P_{a0} = \Pi_{a0}S \approx 60 - 400$ кВт. При большом количестве источников, что характерно для мегаполиса, на такой же площади мощность акустического излучения возрастает до $P_a \approx 1$ МВт (оценки выполнены по методике [2]). Следует заметить, что $P_a > P_{a0}$. Большая часть энергии акустического излучения, как уже отмечалось, приходится на долю низкочастотных АГВ, т.е. ВГВ, которые эффективно проникают на высоты до $200 - 300$ км, диссипируют и играют заметную роль в изменении динамического режима средней и верхней атмосферы Земли. Очень сложно выполнить расчеты энергетики источников, указанных в подразделе. Реальным является возможность выполнить только оценки. Рассмотрим некоторые из них.

Источники электромагнитного излучения. Мощность электрического тока P_e , что передается по высоковольтным линиям электропередач (ЛЭП), составляет около 1 мВт – 1 ГВт, суммарная длина линий $L_e \sim 10^2$ км. Для линий электропередачи наземного электротранспорта и городской осветительной сети P_e и L_e будут ~ 1 мВт, $1 - 10$ МВт и $\sim 10^2 - 10^3$ км и $10^3 - 10^4$ км соответственно. Для последних характерна относительно большая плотность распределения в пределах мегаполиса. Такие системы способны излучать электромагнитную энергию на частотах 50 или 60 Гц и их гармониках. Поскольку доля электроэнергии, которая теряется в ЛЭП, составляет (учитывая потери на нагрев проводов и излучения), как правило, не менее 10% , то суммарная энергия, выделяемая этим источником в мегаполисе, будет существенной. Доля мощности, излучаемой в окружающее пространство, не известна, однако можно полагать, что она не слишком мала (точнее можно сказать, что достаточно велика, поскольку еще с 70 -х годов XX столетия многократно наблюдается различные эффекты, связанные с изменением напряжения в ЛЭП). Например, на основе статистического анализа вариаций геомагнитного поля за сто лет обнаружили их усиления по субботам и воскресеньям. Этот эффект очевидно связан с излучением мощных ЛЭП. Этот комплекс ионосферно-магнитосферных эффектов получил название «эффекты выходных дней». Линия электропередач является источником как электрического, так и магнитного полей.

Теплоылевые и химические источники. Сильные ветры в пределах мегаполиса порождают конвекцию и атмосферную турбулентность, которые сопровождаются генерацией шумового акустического излучения и акустико-гравитационных волн (АГВ) (и, в частности, инфразвука). Оценим для них поток акустической мощности. Для атмосферной конвекции положим: характерный размер конвективной ячейки ~ 10 м, скорость вертикального подъема ~ 10 м/с, время подъема в нижней атмосфере $\sim 10^3$ с, число ячеек $\sim 10^3$. Тогда эффективный объем конвективного источника $\sim 10^{10}$ м³, суммарная эффективная кинетическая энергия и мощность составят $\sim 10^{13}$ Дж и $\sim 10^{10}$ Вт соответственно. Известно, что в акустическую энергию преобразуется примерно $0,1\%$ кине-

тической энергии (на основе наблюдений в зоне пожаров обычно считают 0,1 – 0,3 %), тогда акустическая мощность P_a составит $\sim 10^7$ Вт, поток акустической мощности на границе атмосферы $\sim 1 - 5$ Вт/м². В реальности из-за эффекта усреднения («размывания»), очевидно, поток мощности составляет ~ 1 Вт/м². Мощность атмосферной турбулентности, которая сопровождается генерацией шумового акустического излучения, определяется как $P_a = k_a \rho \sigma_v^3 V M^5 / l$, где $k_a \approx 100$, ρ – плотность воздуха, σ_v – среднеквадратическое значение турбулентной скорости, V – объем вихря размером l , M – число Маха. Считая, например, для высоты 10 км скорость ветра 15 м/с, $\rho \approx 0,2$ кг/м³, $\sigma_v \approx 10$ м/с и $l = 100$ м получим $P_a \approx 2$ Вт, а плотность потока около источника $\sim 1,5 \cdot 10^{-4}$ Вт/м². Принимая во внимание, что количество таких ячеек может составлять $\sim 10^3$, то суммарный поток с учетом эффекта усреднения составит ~ 1 мВт/м². В естественных условиях вне зоны мегаполиса поток акустической мощности составляет 0,3 – 1 мВт/м².

Заключение. Полученные в данной работе результаты свидетельствуют о том, что мегаполисы площадью не менее 200 – 300 км² оказывают заметное, часто существенное влияние в системе «Земля - приземная атмосфера - ионосфера», приводя к необратимым изменениям в ней. Проявление их в этой системе комплексное: они существенно влияют на экологическую обстановку, на распределение атмосферного электричества, на параметры глобальной электрической цепи, на тепловой баланс в атмосфере и ее динамику.

Список литературы: 1. *Davies K. Ionospheric Radio / K. Davies.* – London: Peter Peregrinus Ltd, 1970. – 255 с. 2. *Черногор Л.Ф. Физические процессы в околоземной среде, сопровождавшие военные действия в Ираке (март–апрель 2003 г.) / Л.Ф. Черногор // Космічна наука і технологія, 2003. – №2/3. – С. 13–33.*

УДК 666.974-614.8

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОДЕРЖАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КАУСТИЧНОГО ДОЛОМІТУ

Тараненкова В.В., канд. техн. наук, доц.,

Шабанова Г.М., докт. техн. наук, проф.

(Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна)

Показано важливість екологічної оцінки будівельних матеріалів. Розглянуто екологічні аспекти одержання та застосування будівельних матеріалів на основі каустичного доломіту та природного розчину мінералу бішофіту.

Ключові слова: екологічна оцінка, каустичний доломіт, бішофіт, доломітове в'язуче, доломітова цегла, скло-доломітові листи, пінобетон.

Показана важность экологической оценки строительных материалов. Рассмотрены экологические аспекты получения и применения строительных материалов на основе каустического доломита и природного раствора минерала бишофита.

Ключевые слова: экологическая оценка, каустический доломит, бишофит, доломитовое вяжущее, доломитовый кирпич, стекло-доломитовые листы, пенобетон.

The importance of environmental estimation of building materials is shown. Environmental aspects of obtaining and application of building materials based on caustic dolomite and natural brine of mineral bischofite are considered.

Keywords: *environmental estimation, caustic dolomite, bischofite, dolomite binder, dolomite brick, glass-dolomite wallboards, foam concrete.*

У теперішній час все більшої популярності у світі набуває концепція «зеленого» (або екологічного) будівництва тобто будівництва таких об'єктів, в яких мінімізовано негативний вплив на навколишнє середовище. Будівлі та споруди, що зведені відповідно до концепції будівельної екології, повинні забезпечувати комфортні та безпечні умови мешкання та праці, а також зберігання та покращення довкілля.

Екологічне будівництво неможливе без використання екологічних матеріалів, які характеризуються малою емісією небезпечних речовин з поверхні, підвищеною біологічною стійкістю та іншими властивостями. Оцінка будівельних матеріалів має дві групи критеріїв. Перша пов'язана з оцінкою впливу безпосередньо на здоров'я людини (санітарно-гігієнічна характеристика, радіологічні показники, параметри пожежної безпеки) [1]. Друга пов'язана з оцінкою інтегрального впливу на навколишнє середовище, для чого застосовується метод оцінки за життєвим циклом матеріалу [2]. Комплексність підходу до цих критеріїв означає, що слід брати до уваги не тільки безпечність матеріалів, що застосовуються, але й екологічну ефективність всього їх життєвого циклу, а саме, наприклад, потрібно сприяти використанню місцевих матеріалів, що вироблені за менш енергоємними технологіями.

Впровадження стандартів серії ISO 14000 щодо екологічного менеджменту та екологічного аудиту вимагає від розробників при просуванні проектів ставити акцент на використанні екологічних матеріалів. Але дотепер не існує єдиного визначення поняття «екоматеріал», зараз воно має здебільшого рекламно-маркетингове, аніж наукове значення. Спеціалістами в галузі створення, виробництва та розповсюдження будівельних матеріалів, а також фахівцями з управління навколишнім середовищем неодноразово здійснювалися спроби класифікувати системи екологічних оцінок.

Наприклад, згідно з класифікацією будівельних матеріалів за ступенем впливу на довкілля розрізняють:

- екологічно чисті (відсутність перевищення гранично-припустимих концентрацій токсичних для людини та радіоактивних речовин впродовж усього життєвого циклу);
- екологічно безпечні (здійснюють мінімальний вплив на навколишнє середовище);
- екологічно ефективні (є довготривалими та поліфункціональними, а також сприяють вирішенню супутніх екологічних проблем).

Будівельні матеріали на основі магнезійних в'язучих, які називають магнолітами, характеризуються низкою цінних властивостей, що необхідні для створення екологічних матеріалів:

- високою механічною міцністю при стисканні у початковий термін тверднення, а міцність на згин у 3-5 рази перевищує традиційні бетони;

- пожежною безпекою – при достатній масивності конструкції з магноліту витримують пожежу 5-ої категорії без деструкції матеріалу та виділення будь-яких канцерогенних речовин;

- малою діелектричною проникністю та електропровідністю – конструкції з магноліту використовуються для захисту від електромагнітного випромінювання, а їх поверхні не електризуються, що виключає утворення іскор;

- атмосферостійкістю, стійкістю до дії масел, нафтопродуктів і солей;

- фунгіцидністю та бактеріцидністю, що не дозволяє розвиватися грибок і бактеріям, а гірко-солоний смак перешкоджає появі комах та гризунів;

- декоративністю - можливість імітування багатьох природних матеріалів, чому сприяє сумісність з різними пігментами та відмінна полірувальність.

Основою для створення магнезійних в'язучих є каустичний магнезит або доломіт, а як змішувачі використовуються розчини хлоридів або сульфатів магнію.

В Україні є багаті поклади доломіту в Донецькій, Дніпропетровській та Закарпатській областях, а в Чернігівській та Полтавській областях поширені родовища мінералу бішофіту – водного хлориду магнію. Таким чином, наша країна має усі необхідні мінеральні ресурси для організації виробництва будівельних матеріалів на основі доломітових в'язучих.

У зв'язку з вищевикладеним в лабораторії в'язучих матеріалів НТУ «ХП» вже багато років проводяться науково-дослідні роботи щодо одержання високоефективних доломітових в'язучих та розробки на їх основі широкого асортименту нових будівельних матеріалів.

Внаслідок проведених досліджень з використанням вітчизняної сировини було отримано водостійке високоміцне доломітове в'язуче з пониженою температурою декарбонізації. Встановлено, що температура випалу каустичного доломіту у 2 рази нижче, аніж відповідний показник для клінкеру портландцементу, що робить виробництво доломітових в'язучих більш економічно ефективнішим у порівнянні з традиційними в'язучими.

На основі отриманого в'язучого були розроблені нові склади таких сучасних будівельних матеріалів як доломітова цегла (у тому числі декоративна), скло-доломітові листи та пінобетони.

Встановлено, що зразки доломітової цегли характеризуються швидким зростанням міцності: границя міцності при стисканні (в залежності від виду заповнювача) після 3-х діб тверднення сягає 14 - 25 МПа, а кінцева міцність - 22 – 33 МПа. Водопоглинання доломітової цегли знаходиться в межах 11,6 – 13,5 %, а морозостійкість складає 30 циклів (усі зразки витримали випробування без руйнування та висолів). Виробництво доломітової цегли на відміну від силікатної або клінкерної характеризується значно меншими енерговитратами, оскільки не вимагає витрат на автоклавну обробку або випал.

Міцність на згин зразків скло-доломітових листів у сухому стані досягає 15 МПа, а в вологому - 22 МПа. Виявлено, що скло-доломітові листи є вологостійкими та не деформуються при зберіганні у воді.

Зразки доломітового пінобетону за головними фізико-механічними та технічними показниками відповідають зразкам неавтоклавного пінобетону: пористість 70-75 %, водопоглинання 70-80 %, уявна щільність 0,9-1,0 г/см³.

Таким чином, розроблені будівельні матеріали можуть використовуватися як стінові, оздоблювальні або теплоізоляційно-конструкційні матеріали.

Список літератури: 1. Устинова Ю.В. Методология экологической оценки строительных материалов / Ю.В. Устинова, А.Е. Насонова // Вестник МГСУ. – 2013. – № 2. – С. 123-129.
2. Князева В.П. Экологические аспекты выбора материала в архитектуре и проектировании / В.П. Князева. – М.: Архитектура-С, 2006. – 296 с.

УДК 911.1+504.054.36

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ПОСТПІРОГЕННОЇ РЕЛАКСІЇ У ЛІСОВИХ ЛАНДШАФТАХ ПІСЛЯ ПОЖЕЖ

Буц Ю.В., канд. геогр. наук, доц., **Барбашин В.В.**, канд. техн. наук, доц.
(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Крайнюк О.В., канд. техн. наук, доц.

(Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна)

Проведено аналіз процесів постпірогенної релаксії у лісах лісостепової зони. Встановлено, що технологію відновлення лісових ландшафтів можливо оптимізувати при врахуванні стану функціонування геосистем та негативної дії пірогенного чинника на компоненти геосистем.

Ключові слова: ландшафт, пожежа, постпірогенна релаксія.

Проведен анализ процессов постпирогенной релаксии в лесах лесостепной зоны. Установлено, что технологию восстановления лесных ландшафтов возможно оптимизировать при учете состояния функционирования геосистем и негативного воздействия пирогенного фактора на геосистемы.

Ключевые слова: ландшафт, пожар, постпирогенна релаксія.

Analysis processes postpirogennoy relax in the woods forest-steppe zone was spent. It was found that forest landscape restoration technology can be optimized taking into account the state of functioning of geosystems and the negative impact of the pyrogenic factor on geosystems.

Keywords: landscape, fire, postpirogenna relaxation.

В межах території України щорічно виникають сотні надзвичайних ситуацій (НС), викликаних ландшафтними пожежами. Їх площа сягає тисяч гектарів. Цей вид небезпеки реалізується, насамперед, у лісових пожежах, які суттєво впливають на ландшафти загалом, а також на його компоненти, гідрохімічний, геохімічний тепловий баланси тощо.

Кількість природних пожеж, за даними ДСНС, збільшилася у 2 рази (2015 рік – 25,1 тис. пожеж, 2014 рік – 12,8 тис. пожеж), а їх площа – на 13,8 % (2015 рік – 31 тис. га, 2014 рік – 26,7 тис. га) [2].

Серед пожеж катастрофою можуть обернутися пожежі у лісових масивах, так звані лісові пожежі, які є одним із найбільш небезпечних явищ у довкіллі. Вони призводять до суттєвих економічних втрат і негативних екологічних наслідків.

Загальна площа лісів, з високою та надзвичайно високою можливістю пожеж, становить в Україні близько 4 млн. га. Відтак, у природних зонах України виникає найбільше лісових пожеж. У середньому щороку фіксується

3500 лісових пожеж на площі понад 5000 га. Найбільше пожеж виникло у 2015 році у лісових масивах на території Київської (359), Луганської (353), Харківської (235), Дніпропетровської (227) та Житомирської (220) областей. Уперше за тридцять років у 2 рази зросла кількість лісових пожеж на території Чорнобильської зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення (2015 рік – 59 пожеж, середній показник – 25 пожеж), а площа, пройдена вогнем, – у 32 рази (2015 рік – 657 га, середній показник – 20 га) [2].

Окремо варто виділити пожежі в ландшафтах природних резерватів, де зберігаються унікальні ландшафтні комплекси, фітоценози, природні об'єкти, які можуть бути знищені вогнем назавжди.

Для вирішення проблеми збереження та відтворення лісових ресурсів в Україні була прийнята Державна цільова програма «Ліси України» на 2010–2015 роки, згідно якої передбачено збільшення площі лісів майже на півмільйона гектарів. На цю добродійну справу планували витратити 8 млрд. грн. із державного бюджету. На всю програму – близько 22 млрд. гривень [3].

Раніше видано Указ Президента України «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів і зелених насаджень» (від 04.11.2008 № 995/2008), в якому йдеться про необхідність створення сприятливих умов для ефективної охорони, належного захисту, раціонального використання та відтворення лісів. Для цього потрібно забезпечити збереження та розширення площ зелених насаджень у містах та інших населених пунктах, виходячи з науково обґрунтованих показників лісистості та стану довкілля, географічних, демографічних особливостей території [4].

Проте, як свідчить реальність, із висаджених для відтворення 7000 га лісів саджанців вижило близько 20%. Створені людськими зусиллями ліси у степовій та лісостеповій зоні ефективно заміщуються трав'янистою рослинністю. У більшості випадків вони не здатні до самопідтримання і, полишені без уваги людини, гинуть і змінюються степовою рослинністю. Багаторічна статистика лісових пожеж свідчить, що соснові молодняки, створені у степовій та лісостеповій зонах, є найбільш пожежонебезпечною категорією деревостанів у лісовому фонді України.

Причинами цього, серед інших, є недотримання технології відтворення ландшафтів з урахуванням основ раціонального природокористування. Зокрема, при створенні насаджень знехтувано фізико-географічними особливостями ландшафтних комплексів, не досліджено їх стан і функціонування, не враховано негативної дії пірогенного чинника на компоненти природних комплексів. У зв'язку з цим постає проблема пізнання закономірностей релаксії ландшафтів після надзвичайних ситуацій пірогенного походження та оптимізація технології їх відтворення.

У лісових ландшафтах сукупність постпірогенних процесів у літогенній основі полягає в посиленні геохімічної міграції як у радіальному, так і в латеральному напрямках, зміні фізико-хімічних властивостей ґрунту, зниженні кислотності, зменшенні вмісту органічної речовини, перевідкладенні ґрунтових мас, надмірній зольності, підвищенні вмісту мінеральних компонентів (рис. 1). За таких умов змінюється гідрологічний режим за рахунок зміщення фільтраційної

здатності. У ґрунті розвиваються патогенні грибкові паразити. Внаслідок впливу пірогенного чинника відбуваються фенологічні зміни, тривалість вегетаційного періоду також зазнає змін (підвищується динамічність вітрового режиму, змінюється відбивна здатність денної поверхні). На згарищах масово розмножуються комахи, збільшується чисельність гризунів. На розвиток насінного відновлення рослинного покриву суттєвий вплив мають товщина і структура лісової підстилки та мохового покриву. Груба підстилка та щільний моховий покрив перешкоджають проростанню насіння навіть при регулярному і рясному плодоношенні. За одних і тих же умов, зростання сходів різних порід не однакові. Залежно від величини сходів найважливіші лісоутворюючі породи розташовуються у зростаючому порядку таким чином: осика (*P. tremula L.*), береза (*B. verrucosa Ehrh.*), сосна (*P. sylvestris L.*), ялина (*Picea abies*), ялиця (*Abies alba*), бук (*Fagus sylvatica L.*), дуб (*Q. robur L.*).

Для забезпечення ефективного відновлення лісових ландшафтів з урахуванням постпірогенної релаксії визначено та проаналізовано чинники, що перешкоджають відтворенню фітоценозів та запропоновано ряд заходів. Основною причиною пірогенної деградації соснових лісів вважають кореневу губку (*Fomitopsis annosa*). Другою важливою причиною, що заважає лісовідновленню, є рицина здута чи рицина хвиляста (*Rhizina undulata*), що призводить до виникнення грибкових захворювань, які викликають гнилість коренів сосни [1].

Ослаблення дерев на межі зі зрубамі значною мірою пов'язане з рапто-вим збільшенням освітлення стовбурів, надмірним нагріванням їх літом і ушкодженням морозом узимку. Крони розростаються у напрямку більшого освітлення, а коріння запізнюється з ростом і постачанням вологи, оскільки вологість ґрунту з боку зрубу або ділянки незімкнених культур доволі низька. Ослаблені дією сукупності чинників дерева втрачають опір до заселення стовбуровими комахами, а розвиток цих комах відбувається швидше у нагрітіших ділянках стовбурів.

Там, де лісостеп замінюється степом, умови для вирощування лісових культур стають менш сприятливими. В подібних умовах саджанці піддаються атакам личинок хрущів (*Melolontha hippocastani*). Жоден існуючий інсектицид не може захистити сосну від пошкодження хрущами в цих умовах. Зважаючи на те, що будь-який інсектицид розкладається у ґрунті протягом 2 – 4 місяців, захист культур від хрущів протягом декількох років навряд чи є рентабельним [1].

У південних районах лісостепової зони одним із шляхів залісення ділянок, на яких погано приживається сосна, вважається використання інших порід, які здатні утримувати рухомі піски.

Серед таких порід є робінія або акація біла (*Robinia pseudoacacia*), яка до того ж є медоносом. Саджанці цієї породи також пошкоджуються личинками хрущів, проте завдяки здатності до вегетативного розмноження ця порода може поступово поширюватися від найбільш сприятливих для свого росту ділянок на сусідні ділянки, де під тінню материнських рослин витримує конкуренцію із трав'янистою рослинністю.

У понижених ділянках лісових ландшафтах природно відновлюються береза (*B. verrucosa Ehrh.*) й осика (*P. tremula L.*). Це свідчить про недоцільність вирубування при розробці згарищ навіть пошкоджених вогнем листяних порід, здатних відновлюватися паростю.

Важливим є з'ясування можливості ефективного лісовідновлення згарищ у перший рік після пожежі. На його користь свідчать:

- необхідність якнайшвидшого створення лісу там, де він ріс раніше;
- впевненість, що садивний матеріал встигне добре укорінитися до того, як на ділянках збільшиться чисельність хрущів, а 2-річні саджанці виявляться стійкішими до пошкоджень цими комахами.

На користь відмовлення від залісення згарищ у перший рік після пожежі свідчать:

- висока температура чорного від золи піску на згарищах (понад 50°C), що є згубним для сіянців;

- збільшення лужності ґрунту внаслідок накопичення великої кількості золи, що є несприятливим для росту сосни;

- пошкодження личинками хрущів саджанців сосни у культурах на згарищах не тільки в перший рік після садіння;

- ушкодження саджанців сосни в культурах на згарищах (як і на зрубках) жуками великого соснового довгоносика (*Hylobius abietisma*) та коренежилів (*Hylastes sp.*), які розмножуються у підземних частинах вигорілих дерев – зазвичай щільність цих комах зменшується на 2 – 3-річних зрубках, оскільки на той час розкладеться або висохне субстрат для їхнього розмноження;

- підземні частини пеньків і лісосічні залишки (при вологості деревини менше 60 % зазначені комахи не можуть у ньому розвиватися);

- ураження саджанців грибом рициною здутою (*R. undulata*) (негативний вплив цього гриба на соснові культури може тривати до 5 років [1]).

Висновок. Представлені особливості технології відтворення лісових ландшафтів (насамперед їхнього видового різноманіття) необхідно впроваджувати з урахуванням пірогенних процесів шляхом оптимізації ефективності постпірогенної релаксії з дотриманням основних принципів раціонального природокористування.

Список літератури: 1. Мешкова В.Л. Лісовідновлення на згарищах - важлива проблема на півночі й на півдні / В.Л. Мешкова // Український лісовод, 2009. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lesovod.org.ua/node/4584>. 2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні / Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html. 3. Постанова Кабінету Міністрів України від 16 вересня 2009 р. № 977 «Про затвердження Державної цільової програми «Ліси України» на 2010-2015 роки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/977-2009-%D0%BF>. 4. Указ Президента України від 04.11.2008 № 995/2008 «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів і зелених насаджень» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995/2008>.

УТИЛІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Попенко Г.С., канд. техн. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Подано результати досліджень використання деяких промислових відходів у технології будівельної кераміки. За допомогою методів регресійного аналізу розроблено модель ступеню швидкісного спікання керамічних мас, до складу яких входять вагранкові шлаки ХТЗ, скловідходи та деякі інші відходи. Розроблена модель дає змогу розрахункового прогнозування параметрів мас для керамічних плиток з використанням промислових відходів промисловості різного хімічного складу.

Ключові слова: утилізація промислових відходів, екологічна безпека, будівельна кераміка, склоотходи

Приведены результаты исследований некоторых промышленных отходов в технологии строительной керамики. С помощью методов регрессионного анализа разработана модель степени скоростного спекания керамических масс, в состав которых входят ваграночные шлаки ХТЗ, стеклоотходы и некоторые другие отходы. Разработанная модель дает возможность расчетного прогнозирования параметров масс для керамических плиток с использованием отходов промышленности различного химического состава.

Ключевые слова: утилизация промышленных отходов, экологическая безопасность, строительная керамика, стеклоотходы

The research results of certain industrial wastes and the structural ceramic technologies are presented. With the aid of the regression analysis methods model of the ceramic masses fast sintering degree is developed. The masses comprise the KhTZ cupola slags, scrap glasses and some other wastes. The developed model makes possible to provide design forecasting of the mass parameters for ceramic tiles produced from the industrial wastes of various chemical composition.

Key words: recycling of industrial waste, environmental safety, building ceramics, stekloothody

Прогнозування структури й динаміки безпечного екологічного розвитку системи «людина – довкілля – виробництво» передбачає й визначення рівня екологічної безпеки технологічних процесів, що застосовуються, як складової національної безпеки. Екологічна безпека залежить від великої кількості факторів, найбільш важливими з яких є забруднюючі, особливо хімічні речовини [1]. Найчастіше забруднюючі хімічні речовини надходять у довкілля з відходами промислових виробництв. Слід зазначити, що зазвичай забруднюються і повітря, і води, і ґрунти. Крім того, деякі відходи продукуються у таких кількостях, що займають значні території [2]. Наприклад, об'єм відвалів вагранкових шлаків Харківського тракторного заводу досягає 16 мільйонів тонн, а подальша переробка досі не налагоджена.

Промислові відходи, до складу яких входять легкоплавкі оксиди лужних і лужноземельних металів (R_2O і RO), можуть бути використані в технології будівельної кераміки для зниження температури появи рідкої фази (розплаву). Це дає змогу отримати вироби потрібної якості при знижених температурах випалу.

В роботі для інтенсифікації спікання були використані відходи металургійної та хімічної промисловості (вагранкові шлаки ХТЗ, кек), відходи збагачення руд рідкісноземельних металів (нефелін-егерін-польово-шпатові відходи), а також широко вживані скловідходи і перліт) та їх композиції. Вивчено процес формування структури та фазового складу керамічних плиток при різних температурах випалу. У складі цих відходів присутні вищезазначені легкоплавкі сполуки. До складу експериментальних мас, окрім зазначених плавнів, входила глина Веселовського родовища. Випал експериментальних мас здійснювався по чотирьох режимах, які відрізнялися лише максимальною температурою.

Експериментальні дослідження вимагають значних витрат матеріалів, енергії та часу для отримання матеріалів із потрібними властивостями. Щоб зменшити зусилля і час, доцільно застосовувати математичне моделювання, але для технології будівельної кераміки виникають певні труднощі. Перш за все, суміші для керамічних мас багатокомпонентні, технологія потребує досить багато стадій обробки, тобто на кінцевий результат впливає дуже багато факторів. Найбільш важливими факторами слід вважати максимальну температуру випалу та хімічний склад вихідних матеріалів. Співвідношення складових повинно бути таке, щоб отримати рідку фазу (появу розплаву) при якомога нижчих температурах. В даній роботі використані відходи промисловості, до складу яких входять легкоплавкі оксиди лужних і лужноземельних металів.

Такі особливості технології виключають використання звичайних методів математичного моделювання. Можливе використання одного з методів статистичної обробки даних [3].

Для отримання математичної залежності між хімічним складом вихідних сумішей, температурою випалу і ступенем спікання були використані комп'ютерні методи регресійного аналізу. В якості вихідних параметрів були використані температура випалу (900 – 1050 °C) і хімічні оксиди, які присутні у сировинних матеріалах, а саме: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, RO (CaO і MgO), R₂O (Na₂O і K₂O), B₂O₃, MnO, TiO₂, іон F. Характеристикою ступеня спікання керамічних мас слід вважати такий параметр, як водопоглинання (%).

Після математичної обробки результатів досліджень (140 складів) було отримано рівняння залежності ступеня спікання, тобто водопоглинання (W) від максимальної температури випалу і хімічного складу вихідних сумішей, що має наступний вид:

$$W = 83,5238 - 0,07294T - 4,3931 F' - 0,06689 R_2O + 0,4529 Fe_2O_3 + 0,1053 SiO_2 - 3,3758 MgO - 4,3921 B_2O_3 - 0,4963 Al_2O_3 + 0,00981 MnO + 8,9569 TiO_2 - 0,4313 CaO.$$

Коефіцієнт кореляції цієї математичної моделі дорівнює 0,806.

Вміст зазначених оксидів знаходився у таких межах (%): 49 – 66 SiO₂, 19 – 23 Al₂O₃, 2,5 – 9,0 R₂O, 0,7 – 2,9 Fe₂O₃, 0,5 – 1,0 TiO₂, 0,7 – 5,0 CaO, 0,5 – 1,7 MgO, 0 – 0,32 B₂O₃, 0 – 1,10 F', 0 – 4,30 MnO.

Отримана математична модель дозволяє зробити оцінку ступеня спікання керамічних мас швидкісного випалу при використанні відходів промисловості до проведення експериментальних досліджень і відібрати оптимальні співвід-

ношення сировинних компонентів. Стосовно використання відходів промисловості, такий попередній відбір дає змогу попередньо визначити загальну можливість використання певної вторинної сировини в технології будівельної кераміки, а в подальшому визначитись з кількісними параметрами їх вмісту в керамічних масах швидкісного випалу.

Використання відходів промисловості в технології будівельної кераміки дозволить знизити рівень забруднення довкілля, що сприятиме підвищенню екологічної безпеки на локальному і регіональному рівні.

Список літератури: 1. Попенко Г.С. Роль концепции чистого производства в экологизации экономики / Г.С. Попенко, А.А. Ивашура // Проблемы и перспективы развития IT-индустрии: материалы 1-й Международной научно-практической конференции [«Проблемы и перспективы развития IT-индустрии»], - Харьков: ХНЕУ, 2009. – С. 107 – 109. 2. Попенко Г.С. Проблемы моделирования экологической безопасности и экологических рисков / Г.С. Попенко // Управление развитием. ХНЕУ: Міжнародна науково-практична конференція «Стратегії IT-технологій в освіті, економіці та екології». Збірник наукових статей. - № 7, 2007. – С. 103-104. 3. Коновалов Ю. В. Статистическое моделирование с использованием регрессионного анализа/ Ю.В. Коновалов. – М: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. - 73 с.

УДК 614.876, 666.9

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІСНУЮЧИХ ЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Іващенко М.Ю., канд. техн. наук, ст. викладач

(Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна)

Наведено негативний вплив електромагнітного випромінювання на людину. Приведено порівняльну характеристику існуючих матеріалів з метою виявлення найбільш ефективних для захисту від електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: *несприятливий фактор, бетон, електромагнітне випромінювання, будівельні матеріали.*

Описано негативное влияние электромагнитного излучения на человека. Приведена сравнительная характеристика существующих материалов с целью выявления наиболее эффективных для защиты от электромагнитного излучения.

Ключевые слова: *неблагоприятный фактор, бетон, электромагнитное излучение, строительные материалы.*

Describer the negative impact of electromagnetic radiation on humans. The comparative characteristic of existing materials to identify the most effective protection against electromagnetic radiation.

Keywords: *adverse factor, concrete, electromagnetic radiation, construction materials.*

Науково-технічний розвиток в теперішній час досить високого рівня і супроводжується підвищенням концентрації несприятливих для життя людини факторів, одним з яких є електромагнітне випромінювання (ЕМВ). Вважається, що електромагнітний фон налічує три складові: іонізуюче електромагнітне випромінювання (радіація), неіонізуюче електромагнітне випромінювання (на ча-

стотах нижче 3000 ГГц) і біоенергоінформаційне (випромінювання живих організмів). У цих умовах важливо знати про можливі засоби захисту від даного виду небезпеки.

Проблема ефективного захисту від електромагнітного випромінювання досить актуальна, оскільки використання електронних засобів (комп'ютерів, оргтехніки та побутових приладів) зростає з кожним днем, пропорційно зростає число тих людей, у яких з'являються проблеми зі здоров'ям, пов'язані з негативним впливом електромагнітного випромінювання різних частот.

Як відомо, всі матеріали по типу механізмів, що забезпечують захисні властивості від дії електромагнітного випромінювання, можна умовно розділити на три групи: що відбивають, що поглинають та комбіновані. Незважаючи на те, що матеріали, які поглинають випромінювання, у багатьох відношеннях більш надійні, ніж матеріали, котрі відбивають випромінювання, застосування їх обмежується високою вартістю і вузьким спектром поглинання.

У наукових публікаціях наведено різні методи і засоби захисту біологічних об'єктів від впливу електромагнітних випромінювань, такі як зменшення потужності випромінювання, збільшення відстані між об'єктом, що захищається і пристроєм і ін. Захист відстанню є найбільш простим і ефективним методом захисту, проте за певних умов це не завжди можливо або неефективно.

В основі використання засобів індивідуального захисту від електромагнітного випромінювання полягають принципи наскрізного загасання. Екрануючи властивості застосовуваних тканин визначаються питомим складом металізованих ниток в основі. Характер взаємного розташування ниток у вигляді решітки обумовлює здатність тканини захищати від електромагнітного випромінювання різної поляризації. До теперішнього часу в світі розроблено два типи захисної тканини: з відкритою та прихованою металізацією [1].

Найбільш поширеними і дешевими є екрани, що працюють за принципом відбиття електромагнітної хвилі. Їх виготовляють у вигляді кабін, перегородок, щитів, сіток або індивідуальних засобів захисту. Ефективними екрануючими матеріалами є метали, для яких характерна висока електропровідність. Металеві екрани виготовляються з листового матеріалу або металевих решіток для захисту віконних прорізів, оглядових вікон в кабінах та ін. Основним недоліком існуючих екранів і поглиначів потужності є їх непрозорість або, в кращому випадку, напівпрозорість, що призводить до затемнення приміщень і необхідності в штучному освітленні [2].

Ефективність екранування енергії різними екранами, і в тому числі стеклами з окисно-металевими плівками, зазвичай визначається різницею рівнів потужності ЕМВ, що підводиться до екрану або пройденої крізь нього, і виражається в децибелах (дБ). За даними ряду дослідників, необхідна ефективність захисту при опроміненні електромагнітними випромінюваннями радіочастотного діапазону знаходиться у межах $20 \div 40$ дБ.

Певні захисні властивості, що оцінюються за ступенем наскрізного загасання, мають будівельні матеріали і конструкції з них, порівняльна характеристика яких представлена в таблиці [3].

Більшою мірою послаблює електромагнітне випромінювання залізобетон,

ніж цегла і шлакобетон. Зокрема, в житлових будинках, виконаних із залізобетонних панелей, напруженість поля спостерігається в кілька разів менше, ніж в будинках з цегли [4].

При необхідності приміщення можна облицювати екрануючими або радіопоглинаючими матеріалами. При захисті приміщень від зовнішніх випромінювань з успіхом застосовується обклеювання стін спеціальними металізованими шпалерами. Для зменшення рівня ЕМВ, які проникають в будівлю через віконні прорізи, рекомендується застосовувати спеціальні металізовані скла.

Таблиця

Характеристика захисних властивостей будівельних матеріалів та виробів з них

Найменування матеріалу або виробу	Товщина, см	Наскрізне загасання (дБ) на частоті		
		3,0 ГГц	10,0 ГГц	31,5 ГГц
цегла	12	15	15	15
металізована скляна цегла	–	25	25	25
штукатурка	1,8	–	8	12
скло	0,28	–	2	2
дошка	5,0	8,4	–	–
	3,5	5,0	–	–
	1,6	2,8	–	–
шлакобетонна стіна	46	14,5	20,5	–
капітальна стіна будови	70	16	21	–
міжповерхова перегородка	80	20	22	–
фанера	0,4	–	1	2
залізобетонна стіна	40	26	27	27
вікно з двійними рамами	–	7	13	–
вікно з одинарною рамою	–	4,5	–	–

Таким чином, найбільш доступними захисними матеріалами є бетонні споруди. Наші дослідження спрямовані на отримання оптимальних складів захисних бетонів. Згідно проведеного аналізу існуючих матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання найбільш прийнятним є бетони і конструкції з них, що мають високі захисні властивості в порівнянні з іншими матеріалами, а також технологія виробництва їх більш доступна і менш енергоємна.

Список літератури: 1. Девисилов В.А. Охрана труда. [Текст] / В.А. Девисилов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 448 с. 2. Горский А.Н. Электромагнитные излучения и защита от них: учеб. пособие. [Текст] / А.Н. Горский, Л.К. Васильева. – СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2000. – 101 с. 3. Утепов Е.Б. Методы снижения электромагнитного излучения. [Текст] / Е.Б. Утепов. – Алматы: КазНТУ, 2014. – 126 с. 4. Стеклокристаллические покрытия по керамике: монография [Текст] / Г.В. Лисачук, М.И. Рыщенко, Л.А. Белостоцкая и др. // Под ред. Г.В. Лисачука. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – 480 с.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ З ПОВЕРХНЕВИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Безсонний В.Л., Третьяков О.В., докт. техн. наук, доц.
(Харківський національного університету міського господарства
ім. О. М. Бекетова, Харків, Україна)

Розроблено технічні рекомендації щодо підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання східного регіону України при значному антропогенному навантаженні на поверхневі джерела з урахуванням їх незадовільного екологічного стану.

Ключові слова: водопідготовка, поверхневі джерела водопостачання, коагуляція, солі жорсткості

Разработаны технические рекомендации по повышению уровня экологической безопасности питьевого водоснабжения восточного региона Украины в условиях значительной антропогенной нагрузки на поверхностные источники с учетом их неудовлетворительного экологического состояния.

Ключевые слова: водоподготовка, поверхностные источники водоснабжения, коагуляция, соли жесткости.

Developed technical recommendations to improve the level of environmental safety of drinking water of the eastern region of Ukraine in conditions of significant anthropogenic load on surface sources in view of their poor ecological state.

Keywords: water, surface water sources, coagulation, hardness salts.

Забезпечення населення України питною водою є для багатьох регіонів країни однією з пріоритетних проблем, розв'язання якої необхідно для збереження здоров'я, поліпшення умов діяльності і підвищення рівня життя населення. Східна частина України використовує воду з таких поверхневих джерел як Червонооскільське водосховище, р. Оскіл, р. Сіверський Донець [1].

Удосконалення водозаборів з поверхневих вод питного водопостачання та технологій підготовки питної води передбачено Загальнодержавною програмою «Питна вода України» на 2006-2020 роки, що затверджена Законом України від 03.03.2005 р., № 2455-IV [2] шляхом удосконалення методів і засобів фізико-хімічного та біологічного очищення води через використання процесів ультрафільтрації, інтенсифікації реагентної обробки з використанням сучасних високоефективних коагулянтів, флокулянтів, флотореагентів, дозволених до використання органами виконавчої влади з питань охорони здоров'я.

З урахуванням стану вихідної води поверхневих джерел питного водопостачання (Червонооскільське водосховище, р. Оскіл, р. Сіверський Донець), найближчим часом виробники питної води, які працюють за традиційною технологією: коагуляція – відстоювання – фільтрація – знезараження, зіткнуться з проблемою збільшення вмісту солей жорсткості у вихідній воді. Уже зараз вміст солей жорсткості у цих водах становить 8,0 – 8,5 ммоль/л, що перебільшує встановлений ДСанПіН2.2.4-171-10 рівень (< 7,0 ммоль/л). Виведення цих солей на стадіях традиційної технології підготовки питної води неможливо. Проведеними лабораторними дослідженнями річкової води р. Сіверський До-

нець встановлено, що введення на стадії коагуляції разом зі штатним коагулянт-ом карбонату натрію у кількості, розрахованій з урахуванням хімічного складу річкової води, забезпечує ефективне утворення осаду карбонату кальцію і доведе-ння вмісту солей жорсткості до нормативного рівня (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив карбонату натрію на вміст солей жорсткості у вихідній воді
р. Сіверський Донець

[Na ₂ CO ₃] мг/л	Ж ₀ вих. ммоль/л	Ж _к кінц. через 1 годину ммоль/л	Ж _к кінц. через 2 години ммоль/л
200	10,7	9,1	8,4
300	10,5	7,6	7,0
400	10,5	7,2	6,8
500	10,5	6,7	6,3
600	10,5	6,1	5,8
700	10,5	6,3	5,9
800	10,5	6,1	5,7
900	10,4	7,3	5,9
1000	10,7	7,4	7,0
1100	10,4	6,6	5,9
1200	10,4	6,7	5,8
1300	10,4	6,4	5,9
1400	10,4	7,3	5,8
1500	10,4	6,2	5,7
1600	10,5	7,0	6,4
1700	10,5	7,4	6,1

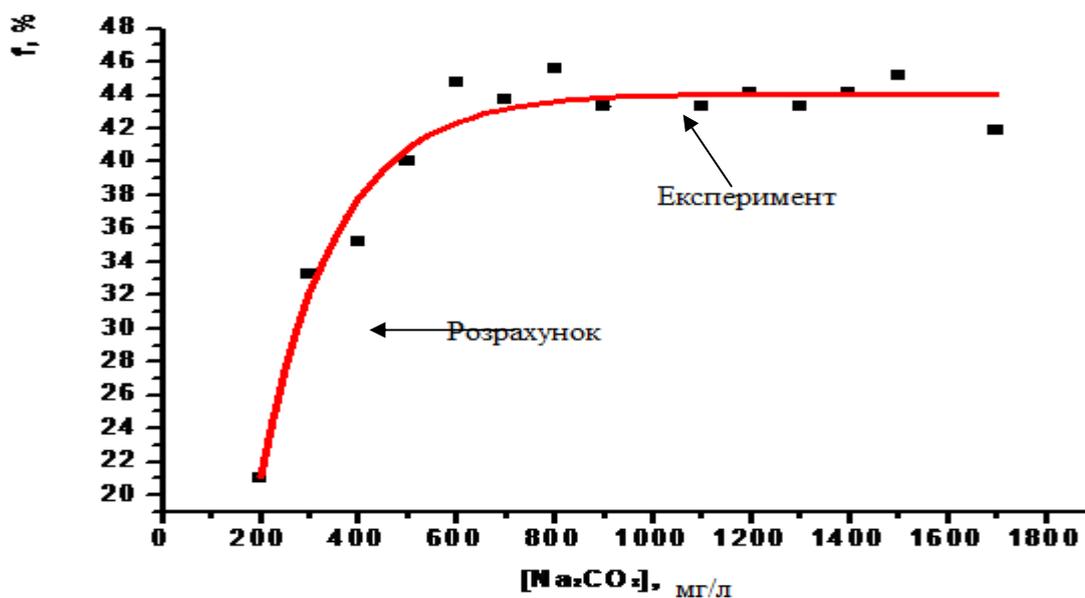


Рис. 1 – Залежність зміни рівня загальної жорсткості вихідної води р. Сіверський Донець від концентрації карбонату натрію за дві години обробки

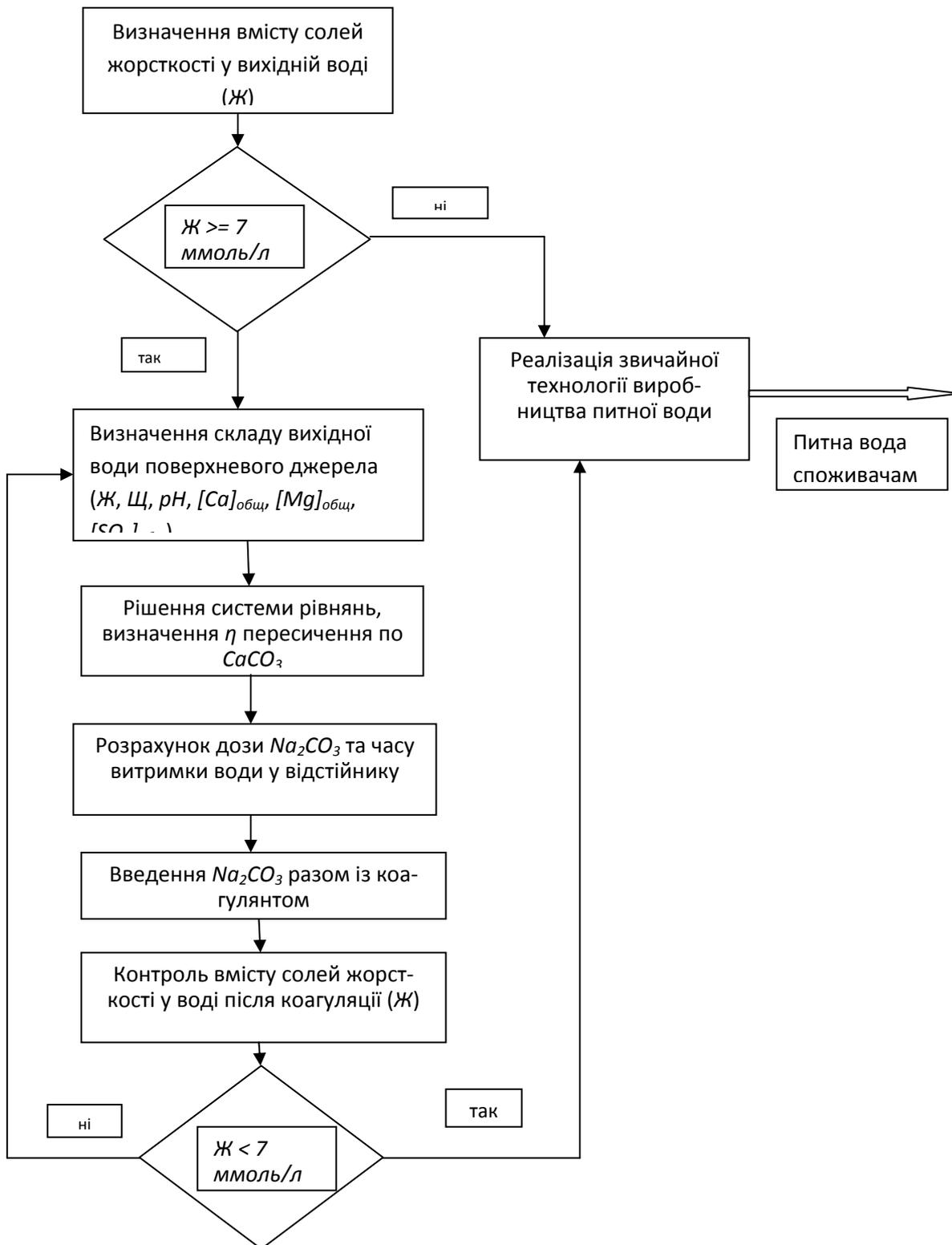


Рис. 2 – Алгоритм доведення вмісту солей жорсткості у питній воді до нормативного рівня

Проведені дослідження дозволили визначити, що при концентрації карбонату кальцію більше 600 мг/л, досягається максимальна стабільна ефективність виведення іонів кальцію у тверду фазу на рівні 45% (рис. 1). Для оперативного розрахунку конкретної дози карбонату кальцію в залежності від хімічного

складу річкової води для кожного конкретного випадку можна використати не складну комп'ютерну програму.

Додаткового обладнання такий метод обробки вихідної річкової води не потребує, можуть бути застосовані ті ж самі апарати, що і при введенні штатного коагулянту. Алгоритм застосування запропонованого технічного рішення доведення вмісту солей жорсткості у питній воді до нормативного рівня задля підвищення екологічної безпеки об'єктів питного водопостачання наведено на (рис. 2). Таким чином, розроблено технічні рекомендації щодо підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання регіону при значному антропогенному навантаженні на поверхневі джерела з урахуванням їх незадовільного екологічного стану.

Найкращі результати отримані при наступній послідовності стадій обробки річкової води: 1) коагуляція + (Na_2CO_3); 2) відстоювання (2 год); 3) фільтрація; 4) аніонування (АВ-17-8). Кінцеве значення рН води (рН=6,58) відповідає допустимому для питної води значенню (рН=6,5-8,5).

Застосування стадії аніонування води на станціях питного водопостачання потребує додаткових проектних та конструкторських розробок, з подальшим проведенням реконструкції цих станцій водо підготовки. Але такі витрати виправдовуються збереженням здоров'я людей – споживачів питної води і подовженням терміну їх життя. Тим більше, що експертами ВООЗ встановлено, що 80% всіх хвороб у світі пов'язано з порушенням санітарно-гігієнічних та екологічних норм забезпечення населення питною водою та її незадовільною якістю.

Список літератури: 1. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання / В.І. Вишневський. – К.: Віпол, 2000. – 376 с. 2. Загальнодержавна програма «Питна вода України» на 2006-2020 роки // Відомості Верховної Ради України, 2005. – № 15. – С. 243-255.

УДК 662.741

УДОСКОНАЛЕННЯ КАМЕРИ ГАСІННЯ КОКСУ

Беспалов О.Є., студент 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Рассмотрена технология гашения кокса. Приведена схема усовершенствования технологии и устройства для её осуществления.

Ключевые слова: кокс, технология гашения, установка.

Розглянуто технологію гасіння коксу. Наведено схему удосконалення технології і пристрої для її здійснення.

Ключові слова: кокс, технологія гасіння, установка.

Considered coke quenching technology. The scheme of improvements in technology and equipment for its implementation.

Keywords: coke quenching technology installation.

ДП «ГПРОКОКС» є родоначальником сучасної технології сухого гасіння коксу. На його базі розроблені проекти і введені в експлуатацію установки сухого гасіння коксу (УСГК) із продуктивністю однієї камери від 50 до 70 т/г. У

розробці перебувають проекти УСКГ із продуктивністю однієї камери від 100 до 200 т/г.

У своїй діяльності ДП «ГПРОКОКС» керується наступними принципами при виборі технології виробництва та дизайну коксохімічних об'єктів:

мінімізація шкідливого впливу виробництва на навколишнє середовище;
впровадження нових технологій та автоматизованого програмного управ-

ління;

розширення сировинної бази коксового виробництва шляхом більш широкого впровадження процесів позапічної підготовки вугільної шихти;

вдосконалення систем гасіння коксу та конструкцій пічних агрегатів;

підвищення комфортності праці обслуговуючого персоналу та оптимізація його чисельності;

впровадження нових технологій, що уловлюють та перероблюють хімічні продукти коксування вугілля.

У країнах СНД за проектами ДП «ГПРОКОКС» побудовано 23 установки сухого гасіння. 11 установок побудовано в Пакистані, Угорщині, Фінляндії, Туреччині, Нігерії та Китаї. У 2001 році це підприємство, перше серед проектних організацій України, було сертифіковане Міжнародним товариством «Lloyd's Register Quality Assurance» за «Системою управління якістю проектної документації», розробленої відповідно вимог ISO [3].

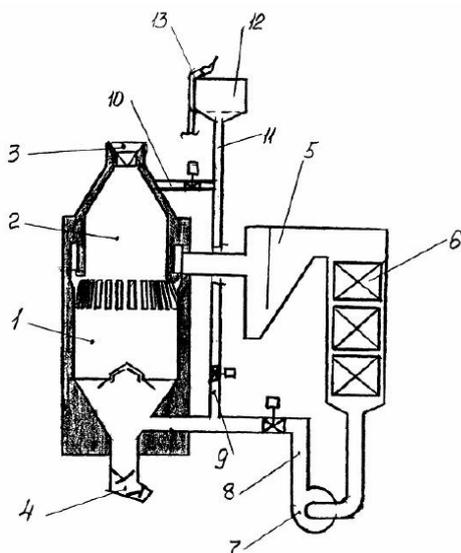


Рис. 1 – Схема установки сухого гасіння коксу запропонована ДП «ГПРОКОКС» для виконання проекту ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

В 2005 році у ДП «ГПРОКОКС» був замовлений проект реконструкції коксової батареї №4 на ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ». Основною задачею було удосконалити установку сухого гасіння коксу так, щоб максимально можливо без значних затрат знешкодити викиди надлишкового газу та пилу в оточуюче середовище та створити більш комфортні умови для обслуговуючого персоналу, поліпшуючи умови гасіння коксу.

Запропонована установка сухого гасіння коксу (рис. 1) складається з камери гасіння коксу 1, форкамери 2, блоку завантаження гарячого коксу 3, блоку вивантаження погашеного коксу 4, камери грубого обезпилювання газу 5, котла-утилізатора 6, димососу 7, лінії подачі газів 8 в камеру гасіння коксу зі свічкою скиду надлишку газів сухого гасіння коксу перед димососом

9, лінії відведення надлишкових газів сухого гасіння коксу з форкамери зі свічкою скиду 10, які об'єднані в один трубопровід 11 з розширювачем 12 та регулюючі пристрої з арматурою. Зверху над розширювачем 12 встановлений постійно діючий запальник 13, тобто створена одна лінія скиду надлишкових газів установки сухого гасіння коксу [4].

Представлена ДП «ГПРОКОКС» установка сухого гасіння коксу може бути удосконалена шляхом зміни у реалізації камери сухого гасіння коксу. Камера установки традиційно складається з 3-х частин: верхня частина – форкамера, нижня частина – зона гасіння коксу та середня частина – зона косих ходів, виконаних з консольним нависанням. Гасіння коксу проводять інертним газом, циркулюючим за допомогою димососу у замкнутій системі між камерою та котлом-утилізатором. Охолоджений у котлі-утилізаторі циркулюючий газ подають через дуттьовий пристрій у нижню частину камери гасіння – зону охолодження.

Удосконалена камера гасіння коксу (рис. 2.) має камеру накопичення розжареного коксу, або форкамеру 1; та камеру 2 охолодження коксу, роз'єднані між собою косими ходами 3, виконаними по периметру камери 2 з консольним нависанням (X). При цьому форкамера 1 обперта на консолі косих ходів 3, сполучених з кільцевим газоходом 4. Довжина консольного нависання (X) перегородок косих ходів 3 становить 300-600 мм, а розмір прохідного січення косих ходів 3 перебільшує максимальний розмір куска коксу не менше, ніж у 3 рази.

Принцип роботи удосконаленої камери полягає у наступному. Розжарений кокс, виданий із коксової печі, через завантажувальний пристрій подають у форкамеру 1, звідкіля він надходить у зону косих ходів 3, а потім у камеру 2 охолодження коксу, де його охолоджують циркулюючим газом, який рухається вверх проти падаючого коксу [1].

При цьому нове конструктивне виконання зони косих ходів 3 з нависанням (X) консольних перегородок довжиною 300–600 мм та розміром прохідного січення косих ходів, який перевищує максимальний розмір куска коксу не менше, ніж у тричі, відвертає можливість застрявання кусків коксу у косих ходах при опусканні коксу з форкамери 1 до камери 2 охолодження по периферії.

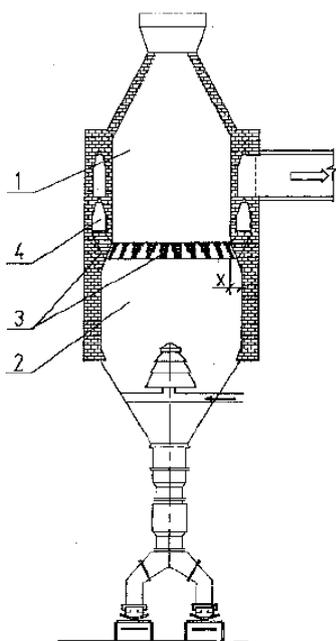


Рис. 2 – Удосконалена камера сухого гасіння коксу

Кокс не затримується у зоні косих ходів 3 і в міру того, як кокс вивантажується із камери 2 відбувається його постійний обмін, завдяки входженню нової порції і виходу попередньої. В результаті забезпечується стабільність роботи та тривалий строк служби камери сухого гасіння коксу, усуваються втрати потужності камери, які відбуваються у камери ДП «ГПРОКОКС» внаслідок припинення роботи на чистку косих ходів від коксу та пилу [2].

Економічна ефективність впровадження наданої пропозиції полягає у збільшенні продуктивності праці у межах 5–7% за рахунок зменшення часу на регулярні зупинки задля проведення очистки косих ходів та збільшення якості отриманого коксу. Також це впровадження дозволить збільшити термін експлуатації камери сухого гасіння коксу.

Повсюдне посилювання екологічних норм, підвищення вимог до якості коксу на тлі погіршення вугільної бази зумовлює пріоритет сухого гасіння коксу на доступну для огляду перспективу.

Список літератури: 1. *Голубев А. В.* Разработка устройства для распределения потоков кокса и газа в камере сухого тушения кокса / *Голубев А. В., Гребенюк А. Ф.* // Углекислотный журнал, 2009. – № 5–6. – С. 48-54. 2. *Данилин Е. А.* Создание технологико-энергетических комплексов на базе коксовых батарей – перспективное направление развития современной коксохимии / *Е. А. Данилин, А. А. Аюбов, А. В. Свиринов* // Кокс и химия, 2010. – № 6. – С. 40–46. 3. ДП «Гипрококс». Сайт підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.giprokoks.com/ua/home>. 4. *Старовойт А. Г.* Кинетика движения и характер охлаждения кокса в камере УСТК / *А. Г. Старовойт, В. А. Анисимов, В. Ф. Гончаров* // Кокс и химия, 1990. – №3. – С. 9–10.

Науковий керівник – канд. техн. наук, проф. Крюк А. Г.

4. ЕКОНОМІКА ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 368.045.3

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ НЕБАНКІВСЬКИХ ФІНАНСОВИХ УСТАНОВ

Ачкасова С. А., канд. екон. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Визначено особливості автоматизації діяльності небанківських фінансових установ. Розглянуто переваги використання спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації бізнес-процесів страхових компаній.

Ключові слова: небанківські фінансові установи, суб'єкти первинного фінансового моніторингу, автоматизація діяльності, бізнес-процеси.

Определены особенности автоматизации деятельности небанковских финансовых учреждений. Установлено преимущества использования специализированного программного обеспечения для автоматизации бизнес-процессов страховых компаний.

Ключевые слова: небанковские финансовые учреждения, субъекты первичного финансового мониторинга, автоматизация деятельности, бизнес-процессы.

The features of automation of non-bank financial institutions were determined. The advantages of using specialized software for automating business processes for insurance companies were considered.

Keywords: non-bank financial institutions, entities of primary financial monitoring, automation of the activity, business processes.

Зміни в технологіях ведення бізнесу та управління ним для утримання лідируючих позицій фінансових установ на ринках фінансових послуг сприяють пошуку дієвих інструментів, що тісно пов'язані з процесами автоматизації.

Розвиток небанківських фінансових установ неможливий без формування дієвої системи взаємодії з органами державного регулювання та нагляду, клієнтами та організації бізнес-процесів. Така система взаємодії повинна бути побудована шляхом використання сучасних інформаційних технологій.

Наприклад, використання сучасних розробок з області ІТ на страховому ринку України може надати відчутний імпульс розвитку даного бізнесу. Це можливо при формуванні більш тісної взаємодії з клієнтом із використанням сучасних інтернет-технологій, а також автоматизації бізнес-процесів на базі інформаційної системи страхової компанії [1].

Крім небанківських фінансових установ це питання реалізує державний регулятор ринків фінансових послуг України. Саме процес автоматизації реалізується у Комплексній інформаційній системі (далі – КІС) Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері ринків фінансових послуг України (далі – Нацкомфінпослуг України).

Ця система призначена автоматизувати ділові процеси та процеси управлінської діяльності посадових осіб і фахівців Нацкомфінпослуг України, вдос-

кваліфікації та підвищити продуктивність, оперативність підготовки і прийняття ними якісних та обґрунтованих рішень, а саме [4]:

- оперативне забезпечення достовірною інформацією та матеріалами, які містять довідкову, аналітичну, прогнозну, рекомендаційну та іншу інформацію;
- формування звітів, що вміщують оперативну інформацію, яка надходить від суб'єктів регулювання, органів державної влади, засобів масової інформації, з інших джерел;
- проведення аналізу, прогнозування різних розрізів та аспектів надання фінансових послуг, результати яких подаються на розгляд посадовим особам Нацкомфінпослуг України і за їхнім дорученням – керівникам інших підрозділів;
- розробки і реалізація стратегії розвитку ринків фінансових послуг, формування узагальнень і пропозицій з цих питань;
- удосконалення та раціоналізація управлінських і ділових процесів, посилення підзвітності і відповідальності за результати прийнятих рішень.

Для фінансових установ – це програмне забезпечення забезпечує подання звітності з використанням електронно-цифрового підпису для недержавних пенсійних фондів, адміністраторів недержавних пенсійних фондів, страхових компаній, кредитних спілок та ломбардів.

Для регулятора – це програмне забезпечення забезпечує: ведення ядра КІС; адміністрування КІС Нацкомфінпослуг України; автоматизацію процесу ліцензування фінансових установ; автоматизацію процесу перевірок планування, оброблення результатів та контролю проведення інспекційної діяльності піднаглядних установ; введення та облік діяльності тимчасових адміністрацій в піднаглядній установі; завантаження даних, що надаються НКЦПФР України з метою створення та впровадження інтегрованої системи обміну інформацією між органами, що здійснюють державний нагляд та контроль у сфері недержавного пенсійного забезпечення; автоматизацію процесів реєстрації та обробки звітності із використанням електронно-цифрового підпису для недержавних пенсійних фондів, адміністраторів недержавних пенсійних фондів, страхових компаній, кредитних спілок та ломбардів; функціонування аналітичної підсистеми КІС Нацкомфінпослуг України.

Іншим аспектом автоматизації діяльності небанківських фінансових установ є їхня взаємодія з Державною службою фінансового моніторингу України (далі – Дерфінмоніторинг України). Це підтверджується необхідністю електронного подання суб'єктами первинного фінансового моніторингу (далі – СПФМ) інформації про фінансові операції, що підлягають фінансовому моніторингу до Держфінмоніторингу України, що надає змогу авторизувати процес фінансового моніторингу. Прикладом цього є використання функціональної системи «ЕКСПЕРТ-ФМ», оскільки подання даних в паперовому вигляді має ряд обмежень як за зручністю, так і за кількістю.

Спеціалізоване програмне забезпечення «ЕКСПЕРТ-ФМ» спрямовано на вирішення завдання з обробки анкет фізичних осіб-підприємців та юридичних

осіб, які підлягають первинному фінансовому моніторингу, заповненні форм обліку та подання повідомлень СПФМ (небанківських фінансових установ) до Держфінмоніторингу України.

Перевагами спеціалізованого програмного продукту «ЕКСПЕРТ-ФМ» є можливість здійснення безпосередньої взаємодії СПФМ, зокрема небанківських фінансових установ та Держфінмоніторингу України (рис. 1).

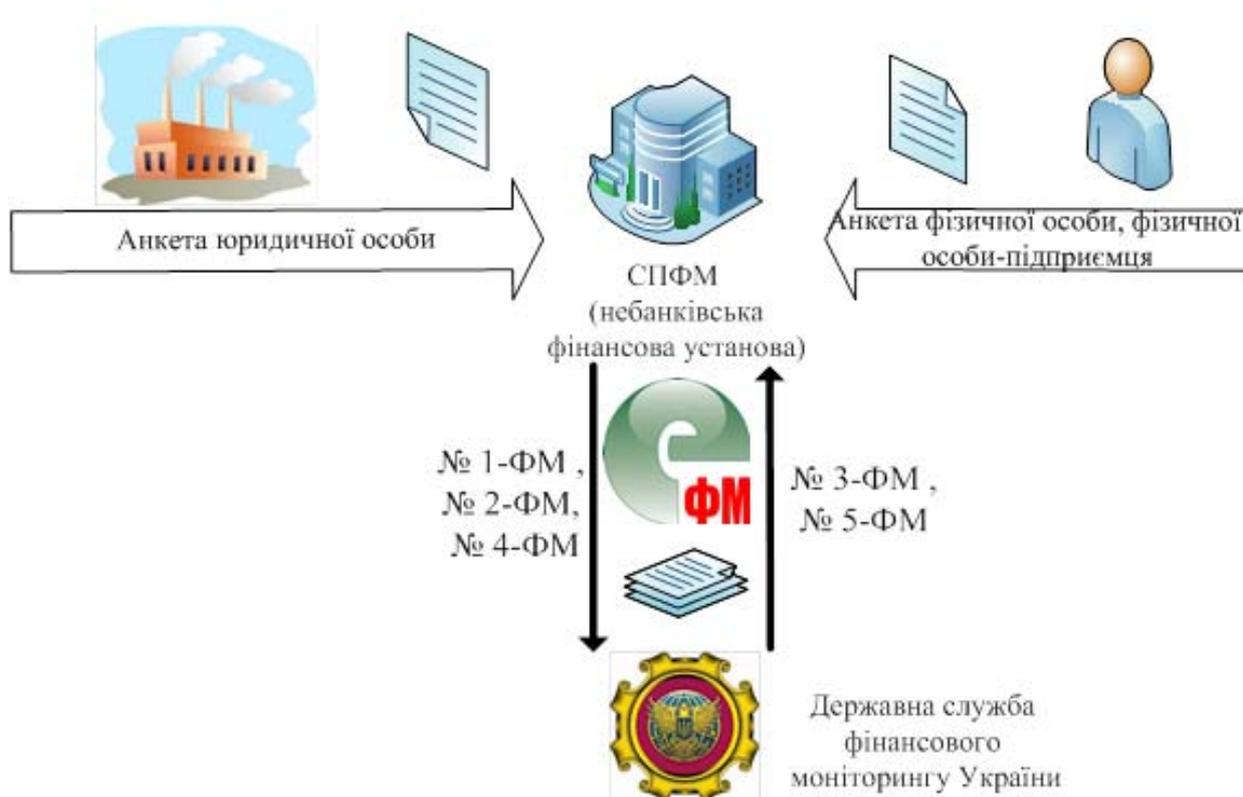


Рис. 1 – Електронне подання СПФМ (небанківськими фінансовими установами) інформації про фінансові операції, що підлягають фінансовому моніторингу до Держфінмоніторингу України

Як видно з рис. 1, використання спеціалізованого програмного продукту «ЕКСПЕРТ-ФМ» надасть змогу надсилати повідомлення в електронному вигляді до Держфінмоніторингу України (1-ФМ, 2-ФМ, 4-ФМ); сприятиме веденню реєстру фінансових операцій та автоматизації внутрішнього і обов'язкового фінансового моніторингу.

Функціональні можливості спеціалізованого програмного забезпечення «ЕКСПЕРТ-ФМ» [3]: гарантія правильного заповнення форм звітності (1-ФМ, 2-ФМ, 4-ФМ); відправлення повідомлень до Держфінмоніторингу України; кваліфікована служба підтримки клієнтів; пошук у списку терористів і повідомлення про його зміни; автоматична система оновлень; подання звітності за філії/підрозділи; мережева версія для роботи декількох співробітників; ведення декількох компаній на одному комп'ютері.

Автоматизація максимально можливої кількості існуючих в страховій компанії бізнес-процесів із застосуванням програмного забезпечення – це правильний шлях до економії ресурсів як страхової компанії так і її клієнтів [1]. Страхові компанії можуть автоматизувати ведення бухгалтерського обігу та вирішення управлінських завдань.

Процес автоматизації діяльності страхових компаній може здійснюватись із використанням спеціалізованого програмного забезпечення Profitsoft. Основні можливості систем автоматизації діяльності страхових компаній спрямовані на автоматизацію страхування через впровадження «Profitsoft BACK-OFFICE» (при укладанні договорів страхування: страхові калькулятори, друк полісів, андеррайтинг, зберігання фотографій, тощо) та «Profitsoft FRONT-OFFICE» (облік бланків, фінанси, комісійні, врегулювання, перестраховування. Дані системи мають web-інтерфейс, що надає змогу працювати з ними співробітникам і позаштатним агентам); для автоматизації діяльності (страхові калькулятори, облік договорів, андеррайтинг, бізнес-процеси та ін.); для управління MLM-продажами страхових посередників [2].

Усі основні бізнес-процеси страхування покриваються системами «Profitsoft BACK-OFFICE» і «Profitsoft FRONT-OFFICE»: облік клієнтів, укладання договорів, звітність, комісійні, врегулювання, перестраховування, нарахування страхових платежів і виплат, звітність.

Системи «Profitsoft BACK-OFFICE» і «1С:Бухгалтерія» інтегровані, що надає можливість уникнути повторного введення тих самих даних в обох системах [1].

Таким чином, використання комплексної системи автоматизації страхової компанії підвищує прозорість діяльності страхової компанії, комфорт роботи та рівень сервісу для клієнтів, співробітників і страхових агентів.

Отже, визначено особливості автоматизації діяльності небанківських фінансових установ. Розглянуто переваги використання спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації бізнес-процесів страхових компаній.

Список літератури: 1. Какие средства автоматизации каких бизнес-процессов использует ваша страховая компания? Какие уже есть достижения и планы в этом направлении? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://myagent.com.ua/comments/text/23>. 2. Офіційний сайт Profitsoft [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://profitsoft.ua>. 3. Офіційний сайт Експерт – ФМ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.expert-fm.com>. 4. Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері ринків фінансових послуг. – Режим доступу: nfp.gov.ua. 5. *Петриченко А.* В каких направлениях может развиваться страховой бизнес благодаря новым технологиям? // Украинский страховой клуб, 2015. – [Електронний ресурс] / *А. Петриченко.* – Режим доступа: http://profitsoft.ua/static/app/pdf/publication/pub_2015.02.pdf

ПАРТНЕРСЬКІ ВІДНОСИНИ ПІДПРИЄМСТВ В МАШИНОБУДІВНІЙ ГАЛУЗІ

Ус М.І., канд. екон. наук, викладач

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Визначено сутність, стан та особливості налагодження партнерських відносин машинобудівними підприємствами. Проаналізовано специфіку вітчизняних партнерств в машинобудівній галузі.

Ключові слова: партнерські відносини, машинобудівні підприємства, взаємодія підприємств, характер партнерських відносин.

Определены сущность, состояние и особенности налаживания партнерских отношений машиностроительными предприятиями. Проанализирована специфика отечественных партнерств в машиностроительной отрасли.

Ключевые слова: партнерские отношения, машиностроительные предприятия, взаимодействие предприятий, характер партнерских отношений.

The nature, state and characteristics of partner relationships of machine building enterprises were determined. The specifics of domestic partnerships in machine-building industry were analyzed.

Key words: partner relationship, machine building enterprises, interaction of the enterprises, character of partner relationships.

Ускладнення умов ведення конкурентної боротьби, прискорення процесу глобалізації економіки та необхідності виходу національних виробників на світовий ринок обумовлюють потребу пошуку більш ефективних форм та механізмів взаємодії промислових підприємств. В зв'язку з цим особливої уваги потребують підприємства машинобудування як провідної галузі індустріального комплексу України.

Дослідженню сутності економічної взаємодії, питанням формування та розвитку промисловими підприємствами партнерських відносин присвячені наукові праці провідних вітчизняних та зарубіжних учених, зокрема, Н. Бутенко, Я. Гордона, Т. Крема, С. Куца, М. Макаренко, Г. Махової та інших. Проте, незважаючи на наявність чисельних теоретичних розробок, проблеми визначення сутності та специфіки встановлення партнерських відносин машинобудівними підприємствами для досягнення ними визначених цілей функціонування та розвитку залишаються фрагментарно дослідженими і потребують подальшого наукового розгляду.

Метою дослідження є визначення та аналіз стану та специфіки формування партнерських відносин за участю вітчизняних машинобудівних підприємств.

Під партнерськими відносинами розглядається форма довготривалих, взаємовигідних відносин суб'єктів ринку, які ґрунтуються на добровільності та рівноправності діяльності сторін з метою реалізації економічного інтересу партнерів.

Головною метою партнерських відносин підприємств є правильний вибір характеру, напрямів співпраці та форм їх реалізації.

Основними напрямками формування підприємством партнерських відносин, відповідно до складу їх учасників є: партнерство з постачальниками, з покупцями, з посередниками та зацікавленими групами, з конкурентами.

Проведене дослідження дозволяє виділити п'ять основних характеристик формування партнерських відносин відповідно до напрямків діяльності підприємств, а саме: виробничий, інвестиційний, інноваційний, торговельний та фінансовий, які відповідатимуть за реалізацію економічних інтересів в результаті налагодження підприємством партнерства і зумовлюють способи поведінки та властивості цих відносин.

Історично партнерства підприємств з'явилися в машинобудівній та металургійній промисловості, що було зумовлено необхідністю виходу на нові ринки збуту та пошуку іноземних замовлень [1]. На сьогоднішній день партнерські відносини існують майже в усіх галузях економіки України та стають необхідним чинником їх зростання.

В промисловості поширені партнерства як вертикального типу (між виробником та покупцем), так і горизонтального – між підприємствами, що перебувають на одній ланці ланцюга створення цінності. Галузь машинобудування характеризується значною кількістю партнерств, наприклад, в автомобілебудуванні існують партнерства як між виробниками автомобілів, так і між постачальниками комплектуючих, запасних частин і кінцевими виробниками. Участь вітчизняних підприємств у партнерських відносинах у цій галузі пов'язана і з випуском продукції під світовими марками, і з організацією складального виробництва в якості материнських компаній. Лідером за кількістю спільних проектів є Запорозький автомобілебудівний завод [2]. Серед українських підприємств у ролі материнських компаній, що організують складальне виробництво за межами України можна виділити корпорацію «Богдан», яка ще декілька років тому відкрила в Росії підприємства з виробництва вантажних автомобілів та автобусів [3].

Слід відмітити, що галузева специфіка поширення партнерських відносин відповідає світовим тенденціям, проте їх формування в Україні та машинобудуванні зокрема дещо відрізняється від практики та досвіду іноземних підприємств у цій сфері. Це пояснюється економічними та політичними умовами функціонування та взаємодії.

Головні відмінності партнерських відносин підприємств в Україні полягають у: 1) цілях, для досягнення яких утворюються партнерства; 2) неформальному характері партнерських угод, що ускладнює вимірювання результатів; 3) відсутності на законодавчому рівні регулювання партнерських відносин підприємств (окрім державно-приватних партнерств).

Аналіз діяльності підприємств – виробників машинобудівної продукції дозволив відокремити існуючі особливості налагодження партнерських відносин в машинобудуванні. Одним з її проявів є багаточисельність зв'язків з іншими підприємствами, проте найбільш тісні відносини спостерігаються з постачальниками сировини, матеріалів та комплектуючих й покупцями машинобудівної продукції, що пояснюється їх стратегічною важливістю в умовах специфіки галузі та продукції (інноваційності, ресурсоємності, матеріалоємності), яка виробляється підприємствами. Проте посилення конкурентної боротьби, підвищення значення відносин як нематеріального активу та джерела конкурентних переваг підкреслює доцільність формування ефективних партнерських відносин і за іншими напрямками їх розвитку.

Взаємодія підприємств з партнерами, яких вони самі відносять до стратегічних, у більшій мірі сконцентрована на питаннях просування продукції, і тільки в поодиноких випадках на розробці та виробництві нової продукції. Такі приклади формування партнерських відносин за участю українських підприємств наведено в табл. 1 (складено на основі [1; 3; 4]).

Таблиця 1

Приклади партнерства за участю українських машинобудівних підприємств

Учасники партнерських відносин	Напрямок діяльності
ПАТ «Автомат» (Україна) виробник-постачальник; ЗАТ «КЗА» (Росія) - покупець	Ексклюзивне постачання дизельних та автомобільних поршнів
ПАТ «ХЕЗ «Укрелектромаш» (Україна); ТОВ «Компанія Раско» (Україна)	Закупка електродвигунів асинхронних загальнопромислових
ПАТ «НВО ім. М.В. Фрунзе» (Україна) - виробник; ПАТ «Турбоатом» (Україна) виробник; ПАТ «Насосенергомаш» - виробник	Постачання продукції та будівництво об'єктів паливно-енергетичного комплексу на території Росії
ХДАВП (Україна) - виробник; ЗАТ «Авіатор» (Росія) – виробник-конкурент	Виробництво та реалізація (в тому числі єдина цінова політика) літаків АН-140
ПАТ «Завод ім. Фрунзе» (Україна) - виробник; ПАТ «Завод «Павлоградхіммаш» (Україна) – виробник - постачальник	Спільна збірка вакуумних трубчатих сонячних колекторів
ПАТ «Автаромат» (Україна) – виробник-постачальник; ПП «Мелітопольський моторний завод» (Україна) - виробник; ПАТ «Запорізького автомобілебудівного заводу» (Україна) – виробник - постачальник	Виробництво та постачання поршней 307.1004015Н-10 для двигунів МеМЗ-307 екологічного класу «Євро-4»
ПАТ «Електромашина» (Україна) виробник; Концерн «MERSEN» (Франція) - постачальник	Отримання поставок шіток, для комплектації стартер- генераторів, спільна участь у виставках
ДП «Антонов» (Україна) – виробник-постачальник; Казанське авіаційне ВО ім. С. П. Горбунова (Росія) – виробник-покупець	Виробництво літаків АН-148-158, АН-140, серійне виробництво АН-70 модернізація АН-124 Руслан
ВАТ «Русал» (Росія) – постачальник; ТФК «Львівський автобусний завод «Лаз» (Україна) – виробник; ВАТ «Автомобільний завод «Урал» (Росія) – виробник-покупець;	Спільна діяльність машинобудівних підприємств та постачальника сировини-металу, а також інвестиції у розробки нової продукції
ПАТ «Турбоатом» (Україна) – виробник; ДП «Електроважмаш» (Україна) - виробник; РАТ ЕЕС (Росія) - покупець	Спільне постачання парових турбін потужністю 325-330 МВт

Аналіз прикладів формування партнерських відносин за участю українських підприємств дозволив констатувати обмежені напрямки діяльності при встановленні відносин з партнерами, а саме: торгівля, спільне виробництво та збут продукції. У видовому аспекті поширення партнерських відносин в машинобудівному комплексі Україні виокремлюються спільні підприємства, аутсорсинг та франчайзинг [3].

Практика формування спільних підприємств в Україні свідчить про доцільність створення партнерства у формі спільного підприємства з можливістю для сторін вивчити один одного у процесі спільної діяльності, а також заощадити на юридичному оформленні угоди купівлі-продажу бізнесу.

Крім зазначених видів та форм партнерських відносин в галузі машинобудування існують й інші – на підставі угод, які важко віднести до

конкретного виду партнерських відносин та визначити їх характер.

Головними чинниками, що стримують розвиток партнерських відносин в Україні є низький рівень ділової етики, проблема недобросовісної конкуренції, недосконалість законодавчої бази та судової системи. Найчастіше лише жорстко формалізований контракт або угода здатні чинити певний вплив на партнера і контролювати процес реалізації партнерських відносин, а також гарантувати виконання ним зобов'язань. Таким чином, поєднання діяльності кількох підприємств у формі партнерських відносин є складним і ризикованим процесом. Партнерська взаємодія відкриває для вітчизняних машинобудівних підприємства нові перспективи, проте вносить у роботу значні складнощі та додаткові витрати. За таких умов важливого значення набуває визначення меж співпраці, цілей, форм та способів реалізації відносин з урахуванням специфіки кожного окремого підприємства – учасника партнерства.

Список літератури: 1. Бутенко Н. В. Партнерські відносини на промисловому ринку: монографія / Н. В. Бутенко. – Кам'янець-Подільський: Аксіома, 2013. – 320 с. 2. Макаренко М. С. Комплексне аналітичне оцінювання діяльності та взаємодії машинобудівних підприємств / М. С. Макаренко // Економіст. – 2014. – № 7. – С. 33–49. 3. Стратегія підприємства: адаптація організацій до впливу світових суспільно-економічних процесів: монографія / А. П. Наливайко, Т. І. Решетняк, Н. М. Євдокимова та ін.; за ред. д-ра екон. наук, проф. А.П. Наливайка. – К.: КНЕУ, 2013. – 454 с. 4. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

УДК 658.56

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕНЕДЖМЕНТІ

Бутенко Д.С., канд. екон. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості інформаційних технологій в менеджменті. Наведено основні сфери використання інформаційних технологій при управлінні підприємством.

Ключові слова: менеджмент, інформація, підприємство, управління, інформаційні технології.

Рассмотрены особенности использования информационных технологий в менеджменте. Приведены сферы, в которых применяются информационные технологии при управлении предприятием.

Ключевые слова: менеджмент, информация, предприятие, управление, информационные технологии.

Features of information technology management. The basic areas of information technology in the management of the company.

Key words: management, information, enterprise management, information technology.

На сьогоднішній день запорукою ефективного управління на підприємстві є використання ІТ-технологій. Воно забезпечує дотримання основних критеріїв якості інформації, а саме точності, надійності, доступності і своєчасності, оперативності та високої швидкості обробки та передачі. Інформація в менеджменті [2]: 1. відомості, які зменшують ступінь невизначеності знання керівника

про об'єкт управління; 2. сукупність даних, які відображають стан або визначають напрям змін і розвитку об'єкта управління та його ланок.

Інформаційні технології являють собою комплекс взаємопов'язаних наукових, технологічних, інженерних дисциплін, які характеризують різні особливості інформаційної діяльності суб'єкта господарювання в процесі реалізації функцій управління в межах його організаційно-управлінської структури [1].

Інформаційні технології безпосередньо мають відношення до використання комп'ютерів, програмного забезпечення, засобів електронних телекомунікацій для збору, реєстрації, передачі, перетворення, обробки, зберігання, захисту, доставки інформації зацікавленому користувачеві.

Головною метою використання ІТ в менеджменті можна вважати одержання й формування інформації для прийняття управлінських рішень, шляхом обробки сукупності даних, що характеризують стан діяльності об'єкта управління.

До основних проблеми впровадження інформаційних технологій у практику вітчизняних підприємств включають:

безперервне збільшення обсягу технологічних пропозицій, що потребують великих інвестицій, і, відповідно, – посилення залежності від зовнішніх послуг (наприклад, постачальників програмного забезпечення);

зміна ролі ІТ у господарській діяльності багатьох підприємств; під час виконання внутрішньофірмових процесів функція ІТ з допоміжної перетворилась у важливу складову продукту чи виробничих потужностей;

зростання витрат у сфері ІТ.

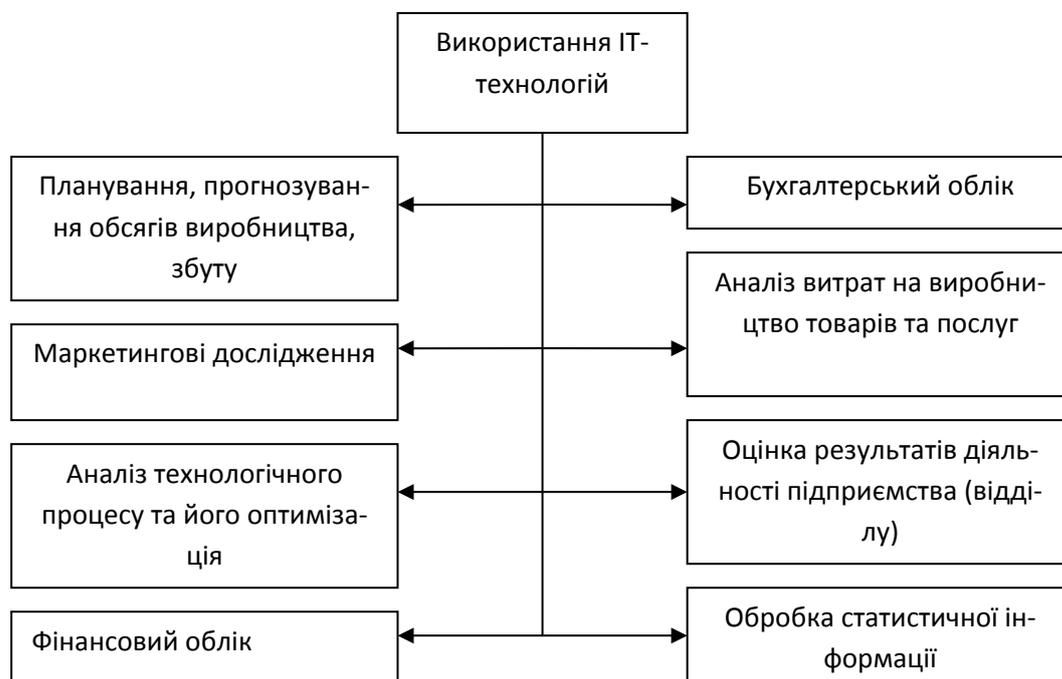


Рис. 1 – Сфери використання інформаційних технологій при управлінні підприємством

Проте є аспекти, у яких інформаційні технології є незамінним елементом структури управління підприємством (рис. 1). Отже, інформаційні технології можуть використовуватися, щоб перепроєктувати організації, трансформуючи

їх структуру, область дії, засоби повідомлення й механізми управління роботою, трудовими процесами, виробами та послугами.

Завдяки запровадженню інформаційних технологій у виробничому плануванні та управлінні машинобудівне підприємство зможе реалізувати найбільш сучасні і прогресивні управлінські концепції, головна риса яких – ощадливе використання ресурсів й орієнтація на інтереси клієнтів [2].

Автор [2] пропонує запровадження комплексної системи, в якій закладена кластерна ідея, що дасть змогу прискорити та поглибити ІТ-модернізацію підприємств з урахуванням ризиків господарської діяльності. Запровадження такої системи управління інформаційними технологіями на рівні функціональних підрозділів здатне усунути проблемні місця в системі відносин, що склалися на підприємстві. Таким чином, можна зробити висновок, що інформаційні технології можуть стати потужними інструментами для створення більш конкурентоздатних і ефективних підприємств.

Список літератури: 1. *Годин В. В.* Информационное обеспечение управленческой деятельности / *В. В. Годин, И. К. Корнеев.* – М.: Мастерство; Высшая школа, 2001. – 240 с. 2. *Левченко М.О.* Використання інформаційних технологій в управлінні ризиками машинобудівних підприємств / *М.О. Левченко* // Актуальні проблеми економіки №4(130), – 2012. – С. 305-313. 3. Менеджмент: Понятійно-термінолог. слов. / За ред. *Г. В. Фокіна, М.Ф. Головатого, О.В. Антонюка, В. П. Сладкевича.* – К. : МАУП, 2007 – 744 с.

УДК 658.8

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗБУТУ ТА РОЗПОДІЛУ ТОВАРІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Рожко В.І., канд. екон. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Для насичення внутрішнього споживчого ринку конкурентоздатними вітчизняними товарами і поступового витиснення імпортованих товарів необхідним є створення сучасної інфраструктури вітчизняного споживчого ринку. Вирішення поставленого завдання можливе за рахунок формування нової структури системи збуту та розподілу товарів вітчизняного виробництва, що відповідає сучасним економічним умовам.

Ключові слова: Система збуту та розподілу, оптова торгівля, роздрібна торгівля, споживчі товари, споживчий ринок, асортимент, торгові дома, канал збуту товарів.

Для насыщения внутреннего потребительского рынка конкурентоспособными отечественными товарами и постепенного вытеснения импортных товаров необходимым является создание современной инфраструктуры отечественного потребительского рынка. Решение поставленной задачи возможно за счет формирования новой структуры системы сбыта и распределения товаров отечественного производства, которая отвечает современным условиям.

Ключевые слова: система сбыта и распределения, оптовая торговля, розничная торговля, потребительские товары, потребительский рынок, асортимент, торговые дома, канал сбыта товаров.

For saturation of domestic consumer market with competitive domestic goods, and gradual replacement of imported goods it is necessary to create a modern infrastructure of the domestic

consumer market. The solution of this problem is possible through the formation of a new sales system structure and distribution of locally produced goods, which meets modern requirements.

Keywords: *System of sales and distribution, wholesale, retail, consumer goods, consumers market, assortment, trade house, sales channel.*

Вступ. Серед основних проблем розвитку підприємств-виробників в Україні особливого значення набуває формування нової структури системи збуту та розподілу товарів вітчизняного виробництва, що відповідає сучасним соціально-економічним вимогам.

Постановка завдання. На сучасному етапі розвитку економіки пріоритетним напрямком є насичення внутрішнього споживчого ринку конкурентоздатними вітчизняними товарами і поступове витиснення імпортних товарів з доведенням частини імпорту в загальному обсязі товарообігу до 10-15%. Це необхідно для того, щоб не тільки забезпечити економічну безпеку, але і скоротити безробіття, сприяти зростанню доходів як споживачів, так і виробників, і залученню інвестицій в економіку України.

Результати. Диференційований рівень доходів населення викликав збільшення і поглиблення відмінностей у рівні споживання продуктів харчування, а отже, зниження рівня задоволення потреб населення і диспропорції структури реалізації товарів через торговельну мережу. Як показав аналіз споживання м'ясної, молочної продукції та інших основних продуктів харчування (ковбасних виробів, молочної продукції, хлібобулочних виробів і т. ін.), відбувається витіснення малоцінними за живильними якостями продуктами більш корисних. Цей факт можна пояснити наслідками кризових явищ в економіці і низьким рівнем доходів значної частини населення у всіх регіонах України [5]. Це у свою чергу відбилося в незбалансованій структурі споживання продуктів харчування, в збільшенні споживання продуктів рослинного походження й одночасному зниженні обсягу споживання продуктів тваринного походження. Скорочення споживання м'яса призвело до скорочення поголів'я рогатої худоби, свиней, а також до зростання імпорту концентрованого сухого молока.

Аналіз обсягів роздрібної реалізації споживчих товарів у залежності від виробника виявив великі масштаби проникнення імпортних товарів на вітчизняний ринок. Так, у 2013 р. в Україні питома вага вітчизняних споживчих товарів, реалізованих через торговельну мережу, становила 74,0%, а в 2012 році становила 75,9%. У Харківському регіоні у 2014 р. питома вага вітчизняних товарів в оптовому товарообігу становила 63,2%, що на 14,9% менше, ніж у 2013 р. [1, с. 234].

В асортименті продовольчих товарів, що реалізуються через торговельну мережу, питома вага імпортних товарів перевищує майже 20%, а саме, мука, риба і рибні вироби, консерви овочеві, фруктово-ягідні, кукурудзяна олія, шоколад з наповнювачами, цукерки й ін. [6]. Слід зазначити, що на ринках з продажу продовольчих товарів і в торгових палатках ступінь насиченості імпортними товарами вищий, ніж в асортименті підприємств роздрібної торгівлі. Разом з тим, останнім часом спостерігається розширення товарної пропозиції продовольчих товарів вітчизняного виробництва. По деяких товарах (м'ясні консерви, варені ковбаси, м'ясо курки, рибні консерви, майонез і т. ін.)

вітчизняні виробники мають більш різноманітний асортимент товарів достатньо високої якості, що забезпечує стійкий купівельний попит населення.

Дослідження регіонального споживчого ринку непродовольчих товарів показало більш значні масштаби проникнення імпорتنих товарів у порівнянні з ринком продовольчих товарів. У представленому асортименті непродовольчих товарів імпортні товари складають: кольорові телевізори – 90%, відеомагнітофони – 98%, магнітофони – 99%, холодильники – 65%, пральні машини – 90%, іграшки – 77%, і т. ін. Найбільш широкий асортимент вітчизняних непродовольчих товарів представлений у таких товарних групах, як трикотажні вироби (жіночі блузи, жіночі пальта), ювелірні вироби, натуральне хутро, дитяче взуття та ін. [6]. Для насичення внутрішнього споживчого ринку конкурентоздатними вітчизняними товарами і поступового витиснення імпорتنих товарів необхіднішим є створення конкурентоздатного вітчизняного споживчого ринку. Причому формування і розвиток цього ринку повинні здійснюватись у двох напрямках:

розвиток вітчизняного виробництва товарів народного споживання;
розвиток торгівлі споживчими товарами вітчизняного виробництва.

У першому напрямку найбільш слабким є стимулювання підприємств харчової і легкої промисловості. Більшість підприємств не мають фінансових ресурсів на придбання і впровадження сучасних технологій і ліній виробництва й упакування товарів, а високі відсотки по кредитах погіршують фінансовий стан підприємств. Тому з метою стимулювання технічного оснащення підприємств для виробництва конкурентоздатної продукції необхідна допомога держави і, насамперед, місцевих органів влади. Допомога даним підприємствам може бути надана у вигляді пільгових довгострокових кредитів для технічного переоснащення і реконструкції під мінімальні відсотки, у формі пільг з місцевих податків, у вигляді часткового звільнення від оподаткування прибутку на період строку окупності вкладених коштів.

Дані заходи дозволять підприємствам харчової і легкої промисловості здійснити накопичення і вкладення коштів у подальший розвиток. Стає очевидним той факт, що розвиток інфраструктури ринку в найближчій перспективі буде сприяти підвищенню питомої ваги товарів, реалізованих через оптових посередників, за умови збільшення обсягів виробництва [2].

Цілями розвитку оптової торгівлі є створення розвинутої структури каналів товароруху, що здатна підтримувати необхідну інтенсивність товарних потоків; забезпечити економію витрат обігу і високу ефективності всієї системи обігу товарів у країні; мобілізувати фінансові ресурси, необхідні для фінансування процесу руху товарів [3]. Виходячи з особливостей розвитку внутрішньої торгівлі і рішення задач щодо забезпечення потреб ринку в товарах народного споживання, пошуку нових форм регіональних, міжрегіональних і міждержавних господарських зв'язків, в оптовій торгівлі повинні набути розвитку дві основні групи оптових організацій: оптові структури національного (державного) і міжрегіонального масштабів (оптові підприємства першого рівня); оптові підприємства регіонального рівня (оптові підприємства другого рівня).

На основі діяльності оптових підприємств першого рівня формується структура капіталів для руху товарів великих вітчизняних виробників товарів і створюються сприятливі умови для виходу на національний споживчий ринок закордонних постачальників товарів, що добре себе зарекомендували.

До першої групи підприємств повинні відноситися оптові структури, що зосереджені в історично сформованих центрах виробництва таких товарів, як метал, вугілля, кераміка та ін. Оскільки розвиток у цих регіонах нерівномірний, оптові структури зобов'язані забезпечити необхідну інтенсивність процесу товароруку продукції.

Оптові структури державного рівня повинні виступати гарантом стратегічної стабільності споживчих ринків. На їх основі можуть формуватися великі торгові корпорації, торгово-фінансові промислові групи, унітарні державні підприємства стратегічного значення. Товарний асортимент цих структур зобов'язаний формуватися з урахуванням переліку товарів, що закупаються для потреб держави, постачання споживачам спеціального контингенту, потреб у товарах віддалених територій.

Основним рівнем оптової торгівлі зобов'язані стати оптові підприємства другого рівня (регіональні). У процесі формування комерційної стратегії ці підприємства точно визначають зону свого впливу на ринок послуг оптової торгівлі. Оптові організації другого рівня закупають товари в оптових структурах першого рівня і безпосередньо в товаровиробників - як у регіоні розміщення, так і на всій території країни, і поставляють підприємствам роздрібною торгівлі й іншим споживачам у зоні своєї діяльності.

Висновки. Аналізуючи структуру імпортованих споживчих товарів і оцінюючи можливості вітчизняних виробників у регіоні, можна визначити пріоритети розвитку виробництва товарів і в цілому в нашій країні, тобто визначити перелік конкурентоздатних товарів, виробництво яких необхідно прискорено розвивати, використовуючи різні засоби стимулювання [4]. Наприклад, виробництво практично всіх продовольчих товарів, тканин, у тому числі лляних, вовняних тканин, хутряних виробів, товарів господарського призначення та ін. На сьогоднішній день необхідно зберігати ввезення таких імпортованих товарів: сучасну комп'ютерну та офісну техніку, побутові пристрої, окремі види одягу, взуття, радіоапаратуру й ін.

У сучасних умовах інтеграція і диференціація - дві взаємозалежні основні тенденції розвитку торгівлі споживчих товарів. На фоні скорочення кількості підприємств торгівлі відбувається укрупнення бізнесу за рахунок перерозподілу власності збиткових підприємств і колишніх підприємств торгівлі, а також інтеграції і злиття більш дрібних торгових компаній. Питома вага товарообігу підприємств колективної форми власності досягла 81,6%. Цей процес буде продовжуватися, поки не сформується нова структура реалізації і розподілу споживчих товарів. Збільшення капіталізації підприємств торгівлі відразу відбивається на об'єктах торгівлі.

Перспективним напрямком розвитку системи збуту споживчих товарів, якому недостатньо приділяється увага, є створення нових комерційних структур - торгових домів. Широкого поширення вони отримали в США,

Англії, Японії й в інших західних країнах [4]. Торгові дома здійснюють: закупівлю великих партій товарів на території держави; перепродаж іншим товарним фірмам, а також реалізацію в роздріб, через свою збутову мережу магазинів. Крім цього, надають кредити, проводять лізингові операції, ведуть широку підприємницьку діяльність, у тому числі беруть участь у створенні промислових, сільськогосподарських, туристичних об'єктів й ін. Торгові дома вкладають капітальні кошти в розвиток виробничої і збутової інфраструктури, складського господарства, в розширення роздрібно-торговельної мережі.

Торгові дома оптимізують послідовність оптового і роздрібного товарообігу. Їх створення спрощує схему просування товарів у більшому ступені, ніж товарні біржі, які є представниками другого рівня оптової торгівлі. Вони пристосовані до здійснення операцій з нестандартними споживчими товарами – одяг, взуття, побутова техніка, продовольчі товари. Як великі закупівельні підприємства вони здатні здобувати продукцію великими партіями за низькими цінами.

Організаційно-правова форма торгових домів – акціонерне товариство, створене на добровільних засадах зацікавленими підприємствами, організаціями різних форм власності й іншими суб'єктами підприємницької діяльності для організації ефективної торгово-виробничої діяльності, переробки і збуту за ринковими цінами різного роду продукції, забезпечення міського і сільського населення продуктами харчування й іншими споживчими товарами.

Торгові дома мають у своєму розпорядженні кваліфікований штат маркетингологів, менеджерів і комерсантів, мають в наявності сучасні канали зв'язку для збору інформації про кон'юнктуру ринку не тільки в країні, але і за її межами. Перспективою торгових домів є створення розгалуженої мережі виробничих і транспортних підприємств, магазинів, інформаційних центрів, складів і т. ін.

Важливу роль у розвитку споживчого ринку повинні зіграти фірмові магазини виробників, що представляють продукцію вітчизняного товаровиробника. Такий канал збуту успішно застосовує ТОВ „Харківський м'ясокомбінат” та інші виробники споживчих товарів. Внаслідок прямих поставань продукція від безпосередніх товаровиробників надходить у фірмові магазини, що можуть встановлювати відносно низькі ціни на товари, забезпечувати достатньо різноманітний асортимент товарів при їх високій якості. Таким чином, для виробників споживчих товарів розвиток власної мережі фірмових магазинів є дуже ефективною системою збуту, який набуває актуальності в умовах посилення конкурентного тиску.

Для стимулювання розвитку мережі фірмових магазинів місцевим органам влади необхідно надати даним підприємствам цілу низку пільг. Наприклад, знизити вартість орендної плати, виділити для цих магазинів муніципальні приміщення на певний термін без орендної плати. Також місцеві органи управління можуть знизити ставки місцевих податків для стимулювання діяльності підприємств роздрібно-торгівлі, що реалізують вітчизняні споживчі товари.

Вищезазначені заходи сприятимуть розвитку ринку вітчизняних споживчих товарів і поступовому скороченню обсягу імпортованих товарів на

внутрішньому ринку. Перераховані вище напрямки розвитку сфери торгівлі дозволять сформувати якісно нову систему збуту товарів. Запропоновані рекомендації сприяють створенню якісно нової конкурентоздатної системи розподілу вітчизняних споживчих товарів.

Список літератури: 1. Статистичний щорічник. Харківська область в 2014 році / Головне управління статистики у Харківській області: за ред. М. Л. Чмихала. –Х., 2015. – 607 с. 2. Якість економічного зростання / В. Томас, М. Дайлані, А. Дарешвар та ін.: Пер. з англ. – К.: Видавництво Соломії Павличко “Основи”, 2002. – 350 с. 3. Бондаренко Л. М., Внукова Н. М., Лімонова Л. О. та інші. Концептуальні засади стратегії розвитку Харківського регіону. – Х.: Модель Всесвіту, 2001. – 52 с. 4. Николайчук В. Е. Логистика в сфере распределения: Учеб. пособие. – Донецк: КИТИС, 2000. – 210 с. 5. Жеребин В. М., Романов А. Н. Уровень жизни населения. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 592 с. 6. Статистичний щорічник України за 2004 рік / Державний комітет статистики України / Відп. за вип. О. Г. Осауленко. – К.: Українська енциклопедія, 2005. – 631 с.

УДК 614.845

К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ С ПОЗИЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ СИСТЕМЫ «ПОТРЕБИТЕЛЬ-ПРОИЗВОДИТЕЛЬ»

Савченко Н.Ф., канд. техн. наук, доц.

(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)

Предлагается методология прогнозирования изменения потребительских свойств товаров в зависимости от номенклатуры их показателей. Особенностью предложенной методологии является использованием модели пирамиды, вершина которой – это комплексный показатель оценки потребительских свойств.

Ключевые слова: *товар, потребительские свойства, технология, сырье, безопасность, прогнозирование.*

Пропонується методологія прогнозування зміни споживчих властивостей товарів в залежності від номенклатури їх показників. Особливістю запропонованої методології є використанням моделі піраміди, вершина якої - це комплексний показник оцінки споживчих властивостей.

Ключові слова: *товар, споживчі властивості, технологія, сировина, безпека, прогнозування.*

Proposed methodology for forecasting changes in consumer properties of the goods, depending on the range of their performance. The peculiarity of the proposed methodology is the use of the pyramid model, the top of which - a comprehensive evaluation index of consumer properties.

Keywords: *goods, consumer properties, technology, raw materials, safety, forecasting.*

Очень часто приходится слышать, что мы живем в век потребления, то есть в зависимости от различных человеческих потребностей.

В своей книге воспоминаний «Сделано в Японии» Акио Морита – основатель корпорации Sony (Sony Corporation) – писал: «Будущее мне представляется как прекрасный мир товаров и услуг высшего качества, в котором марка

каждой страны будет служить символом качества и все будут бороться между собой за заработанные большим трудом деньги потребителей ... Я верю, что такой мир скоро будет создан. Перед нами стоит большая задача, успех в ее решении зависит только от нашей силы воли».

В значительной степени при создании «прекрасного мира товаров и услуг высшего качества» важно совершенствование методов прогнозирования потребительских свойств, оценке системного влияния на них различных факторов. Среди этих факторов, в первую очередь, выделяют качество как всеобъемлемый критерий. Например, к одному из определяющих свойств качества товаров относится назначение как способность товаров удовлетворять физиологические и социальные потребности, а также потребности в их систематизации. Если товар не удовлетворяет потребителя по назначению, то остальные свойства утрачивают для него привлекательность. В зависимости от удовлетворяемых потребностей свойства назначения подразделяют на подгруппы: функционального, социального, классификационного и универсального назначения [1].

На формирование свойств назначения, обеспечивающих наиболее полное удовлетворение потребностей, в свою очередь, влияют различные технико-экономические и социальные факторы [1-5]. Поэтому возникает необходимость в прогнозировании вариантов изменения совокупности потребительских свойств (например, таких как безопасность, надежность, долговечность, безотказность, комфортность, эстетичность, мода, стиль и др.).

В соответствие с этим предложено рассмотреть возможные модели изменения комплексного показателя потребительских свойств, оцениваемого экспертами. Если собрать воедино возможные его значения для товаров, удовлетворяющих по назначению различных потребителей, то комплексный показатель потребительских свойств за различные периоды τ мог бы быть условно представлен так, как показано на рис. 1.

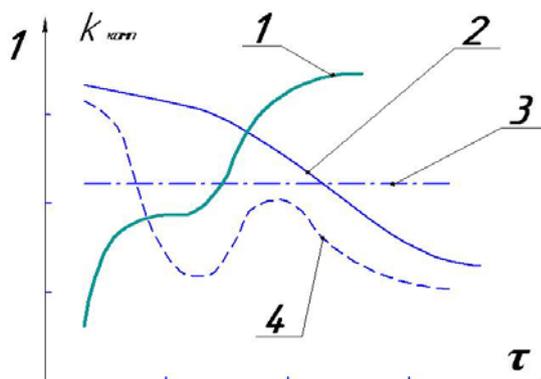


Рис. 1 – Варианты изменения комплексного показателя потребительских свойств $k_{\text{компл}}$: 1– стабильно повышающийся; 2 – стабильно снижающийся; 3 – стабильно сохраняющийся; 4 – неустойчиво колеблющийся

Как следует из рис.1, значения комплексного показателя потребительских свойств в условиях рынка могут быть различными. При этом можно принять, что его значения могут в зависимости от групп потребителей меняться более чем на 30-50%. Такие колебания могут объясняться изменением предпочтений потреби-

телей, их материальными возможностями, маркетинговыми мероприятиями. Например, стабильно повышающееся значение комплексного показателя потребительских свойств свидетельствует не только о повышении качественных показателей, характеризующих одни потребности, но и появление новых. Такие варианты могут быть при появлении новых товаров, например, новой престижной модели автомобиля.

Если же за определенный период (обычно 2-3 года) наметилось снижение комплексного показателя потребительских свойств (кривая 2, рис.1), то это может служить основанием для серьезного изменения какой-то составляющей потребительских свойств (или предпочтений), влияющей на качество товара. Во многих случаях причиной могут быть вопросы к особенностям технологического обеспечения безопасности товаров (например, качество сырья, ингредиенты), появлению новых методов контроля качества.

Стабильно сохраняющееся значение комплексного показателя потребительских свойств (кривая 3, рис.1) говорит не только о его неизменности, но, прежде всего, говорит об отсутствии проблем, побуждающих к его изменению (очевидно, что спрос на товар постоянен).

Неустойчиво колеблющееся значение комплексного показателя потребительских свойств (кривая 4, рис.1) свидетельствует, по всей видимости, о неудачной маркетинговой стратегии следования за конкурентом или же отсутствии прогрессивных технологий.

В этой связи можно считать, что на изменения потребительских свойств влияют как технологические, так и личностно-социальные факторы, представляемые в виде развертки пирамиды (рис. 2).

Новые возможности удовлетворения потребностей

Потребительские свойства

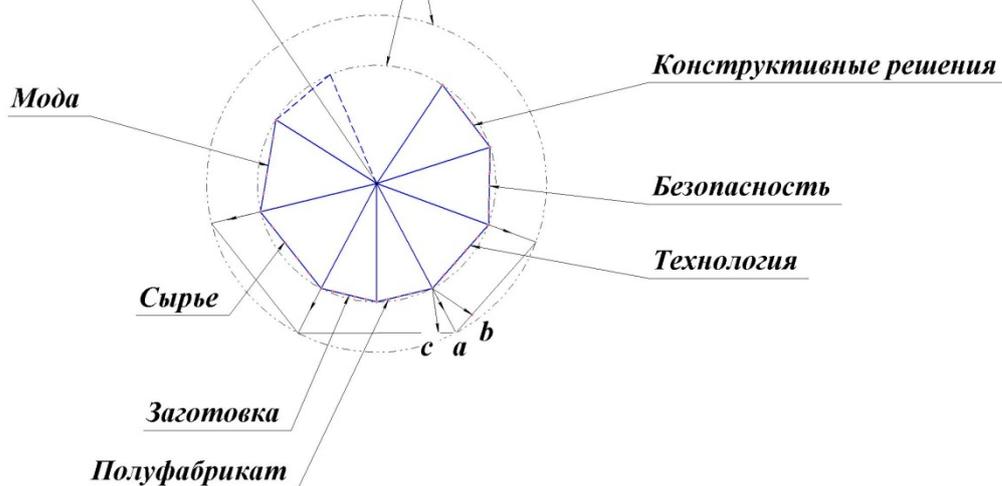


Рис. 2 – Факторы, влияющие на изменение потребительских свойств

Таким образом, изменение одного из факторов должно влиять на систему других показателей как качества, так и потребительских свойств в целом.

Список литературы: 1. Николаева М. А. Товароведение потребительских товаров. Теоретические основы / М.А. Николаева. – М.: Норма, 1997. – 284 с. 2. Савченко Н.Ф. Товароведение. Конспект лекций для студентов спец. 7.050108 всех форм обучения / Н.Ф. Савченко. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2004. – 168 с. 3. Власова А.В. Основы товароведения непродовольчих товаров: навч. посібник / А.В. Власова. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 208 с. 4. Гридасов В.И. Товароведение: учеб. пособие для студентов вузов / Гридасов В.И., Винник Е.В., Оридорога Л.М. – Харьков: Издательство НФаУ: Золотые страницы, 2003. – 188 с. 5. Товароведение: учеб. пособие / Под ред. П.Д. Дудко и [др.]. – ИД «ИНЖЭК», 2005. – 456 с.

УДК 330.47

ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Свидерский В.П., докт. техн. наук, проф.
Фридман Е.А., ст. преп.

(Харьковский институт бизнеса и менеджмента, Харьков, Украина)

В статье рассмотрено значение влияния новых технологий на эффективность функционирования предприятий. Проведен анализ технологического риска. Предложены пути управления рисками, связанными с новыми технологиями

Ключевые слова: новые технологии, инновации, технологический риск, управление рисками.

У статті розглянуто значення впливу нових технологій на ефективність функціонування підприємств. Проведено аналіз технологічного ризику. Запропоновано шляхи управління ризиками, пов'язаними з новими технологіями

Ключові слова: нові технології, інновації, технологічний ризик, управління ризиками.

The article is devoted to the value impact of new technologies on the performance of the enterprises. The analysis of technological risk. Examined ways to manage the risks associated with new technologies

Keywords: new technologies, innovation, technological risk, risk management.

Жизнедеятельность современного общества, его устойчивость и способность развиваться определяется многими факторами, главным среди которых является культура, информационные процессы, инновации, технологический уровень и состояние экологической культуры.

Опыт стран с развитой рыночной экономикой доказывает, что разработка и внедрение новых технологий являются важнейшими условиями функционирования предприятий в среде конкуренции и свободных рыночных отношений.

Технологические нововведения - одна из причин забот и волнений руководителей производства: плохо, когда новшества отсутствуют, тревожно и хлопотно, когда они есть.

По мнению многих исследователей, внедрение новых технологий - процесс уникальный, требующий творческого подхода, неповторимости, одаренности. Все это так, однако, в понятие технологических новшеств входит нечто

большее: это борьба на рынке между новаторами и обороняющимися, защищающими свои нынешние доходы; это рисковая категория, которая может привести фирму и к небывалым прибылям, и к банкротству.

Целесообразность изучения проблемы оценки технологического риска, связанного с новыми технологиями, и управления последним вытекает из признания большинством экономистов факта неустрашимости риска именно технологического происхождения.

Технологический риск - явление сложное, связанное с экономической конъюнктурой, социальной и экологической обстановкой, а также поведением партнеров, конкурентов и потребителей.

Технологический риск можно определить как вероятность потери предприятием некоторой части собственных ресурсов, недополучения доходов или появления дополнительных расходов в результате разработки и внедрения технологических новшеств.

Однако для более детального рассмотрения рисков при внедрении новых технологий может успешно использоваться S-образная кривая.

При вкладе средств в разработку и внедрение технологии успехи ограничены. Далее результаты улучшаются скачкообразно. Чем круче логистическая кривая, тем результативнее процесс.

S-образная кривая отражает зависимость между затратами на новую технологию и результатами, полученными от вложенных средств.

Все это объясняется рисковым пределом, который находится вверху S-образной кривой.

Рисковым пределом является самым надежным ключом к выявлению момента устаревания существующей технологии и разработки новшества. Приближение к рисковому пределу можно определить по резко возрастающим издержкам производства.

S-образная кривая подсказывает, что по мере приближения к рисковому пределу технология становится все более дорогостоящей. Близость к пределу означает, что все существенные возможности улучшения технологии уже использованы. На данный момент существует три пути решения этой проблемы:

- либо переключиться на сбыт;
- либо снова увеличить расходы на развитие и усовершенствование имеющейся технологии;
- либо расстаться с существующей технологией, которая еще приносит прибыль, однако явно устаревает, и переключиться на инновацию.

Первый путь имеет определенные преимущества, которые можно определить как кратковременные. Ведь без внедрения новшеств невозможно преодолеть отставание фирмы в области научно-технического прогресса (НТП).

Сбытовая деятельность должна идти по пути, параллельному совершенствованию производства с помощью новых технологий.

Второй путь является вовсе регрессивным. Существует некоторая вероятность того, что по мере приближения к рисковому пределу процесс может протекать в обратном направлении (закон убывающей отдачи).

Кроме того, близость к пределу открывает возможности для конкурентов, внедряющих новые технологии с более высокими пределами, догнать лидера. Идя по вышеуказанному пути, фирма избегает инновационного технологического риска, но обрекает себя на риск потери вновь вложенных в технологию средств, риск оказаться вытесненной с собственной ниши рынка, риск потерять лицо инновационной фирмы.

И, наконец, третий путь, непосредственно связанный с технологическими новшествами. Риски в данном случае обладают эффектом лавины, одни риски влекут за собой другие, например: инфляционный риск, риск завышенной либо заниженной цены, риск непризнания новшества потребителем, риск полной или частичной потери вложенных средств, риск банкротства.

Весьма важным в данной ситуации следует считать процесс управления рисками. В основе этого процесса лежит осознание рисковых пределов, определение времени замены старых технологий на новые, наблюдение за действиями конкурентов, прогнозирование результатов инновационных проектов, использование различных способов уменьшения рисков или полной их ликвидации, обоснование тех рисков, избежать которые невозможно.

Исследования западных экономистов доказывают, что инновационный проект, разработанный с учетом рисков, как правило, приносит прибыль.

Кроме рискового предела логистической кривой, существует рисковый скачок. Рисковый скачок - это переход от одной группы технологий к другой. Если известно, что оставшийся потенциал технологии незначительный (близок рисковый предел), то рисковый скачок лишь вопрос времени.

Как правило, одновременно существуют две и более конкурирующих технологии. Более целесообразно изображать пары либо группы S-образных кривых. Промежуток между ними - рисковый скачок, при котором одна технология замещает другую. Период рискового скачка характеризуется хаосом. В этой связи важной задачей для фирмы является умение преодолевать рисковые скачки. Немецкие фирмы вкладывают немалые деньги в исследования, чтобы знать свое местоположение на соответствующей S-образной кривой и наблюдать за тем, насколько являются близкими рисковый предел и рисковый скачок.

Оценка и управление риском при внедрении новых технологий не могут игнорировать человеческий фактор. Среди ученых существует мнение, что одним из критериев НТП является полное отсутствие риска для человека. Однако такую постановку вопроса следует считать неоправданной. Любая деятельность человека носит вероятностный характер и поэтому связана с некоторым изначально существующим риском. Кроме того, полное исключение риска, связанного с новыми технологиями, привело бы к необходимости отказаться от автомобилей, самолетов и др.

Очевидно, что невозможно сформулировать единственный критерий допустимого риска для всех видов техники и технологии. Однако, развитие теории рисков отчасти связано с социальной потребностью расширения и углубления знаний о риске.

Технологический риск в современных условиях приобретает статус социально-философской категории. «Внедрение новых технологий ведет к сниже-

нию затрат на материалы и рабочую силу» - это часто основной аргумент, приводимый в пользу новшеств. Сокращение числа занятых в производстве принято считать успехом независимо от возникающих проблем.

В процессе внедрения новых технологий основное внимание уделяется инвесторам, запросам потребителей, держателям акций.

Трудовые ресурсы же рассматриваются как любой другой вид ресурсов, как средство удовлетворения потребностей.

Социальный риск тесно связан с деятельностью, осуществляемой субъектами в ситуации неизбежного выбора в условиях внедрения новшеств и связанной со снятием неопределенности.

Возникает вопрос: существуют ли способы избежания или хотя бы снижения социального риска? Как в данной ситуации поступает руководство зарубежных фирм?

Некоторые западные фирмы предпочитают полагаться на естественную убыль и сокращение занятых на добровольной основе с использованием целевых программ, направленных на придание привлекательности раннему уходу на пенсию.

Большинство компаний считает переквалификацию средством, позволяющим избежать обязательных сокращений. Это означает большую гибкость в организации производства, когда работники безболезненно могут переводиться с одной работы на другую. Кроме того, в структуре рабочей силы происходит снижение числа низко квалифицированных трудящихся.

При внедрении новых технологий некоторые американские фирмы «замораживают» найм. Единственная сфера, в которую могут приниматься специалисты со стороны, - работа с новой технологией. Кроме того руководство ориентируется на долгосрочное планирование производства. Опыт зарубежных компаний показывает, что на полное внедрение технологии во многих случаях уходит три-четыре года, пока не будет достигнут новый уровень экономической эффективности и избыток рабочей силы станет очевиден. Если при этом имеет место устойчивый рост спроса, то число занятых может остаться прежним.

Гарантия занятости является отличительной особенностью японского управления. После строгого подбора кадров руководство направляет огромные усилия на стабильность занятости и постоянное повышение подготовки трудящихся. Эта работа проводится с пониманием того, что служащие, обладающие технологическими знаниями, - это «ноу-хау» компании. Японское управление выделяет людей среди других ресурсов. президенты японских фирм считают, что, если состав рабочей силы меняется из-за высокой текучести кадров, ценные технологические разработки будут постоянно уплывать из компании. Японские корпорации гарантируют своим служащим работу и используют систему вознаграждения, основанную на трудовом стаже.

Выводы: В сложившейся ситуации глобальной экономической проблемой следует считать восстановление производства на основе внедрения новых технологий. А воплощение технологической модели не может обойтись без трудовых ресурсов.

Необходимо отметить важную особенность высоких технологий – они являются интегрированными, в них совмещено ряд процессов. Ни одна из высоких технологий не может быть создана и успешно управляема без сочетания ее с процессом новых информационных и коммуникационных технологий.

Список літератури: 1. Нанотехнологія та її інноваційний розвиток: Монографія / Пономаренко В.С., Назаров Ю.Ф., Ібрагімов І.М., Свідерський В.П. – Харків: ВД «Інжек», 2008. – 280 с. 2. Бондаренко М. І. Інновації як фактор розвитку науки, техніки і технології / М. І. Бондаренко, В. П. Свідерський // Ринкова трансформація економіки: зб. наук. пр. – Вип. 14. – Харків: ХІБМ, 2012. – С. 6-13.

УДК 330.47

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙ ТА ГЛОБАЛЬНОЇ КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ УКРАЇНИ

Свідерський В.П., докт. техн. наук, проф.

(Харківський інститут бізнесу і менеджменту, Харків, Україна)

Абрамова І.М. (Харківський інститут фінансів КНТЕУ, Харків, Україна)

Розглянуто питання взаємозв'язку розвитку інновацій та глобальної конкурентоздатності України.

Ключові слова: інновації, глобальна конкурентоздатність, економічні хвилі.

Рассмотрены вопросы взаимосвязи развития инноваций и глобальной конкурентоспособности Украины.

Ключевые слова: инновации, глобальная конкурентоспособность, экономические волны.

The problems of the relationship of innovation and global competitiveness of Ukraine.

Keywords: innovation, global competitiveness, economic waves.

Автор теорії великих економічних хвиль М.Д. Кондратьєв у 20-ті роки ХІХ сторіччя обґрунтував ідею множинних циклів та виявив закономірності, які супроводжують тривалі коливання економічної кон'юнктури. Зокрема, перед початком та на початку кожної великої економічної хвилі в економіці відбуваються глибокі перетворення. Вони полягають у значних змінах техніки, яким передують великі технічні відкриття та винаходи.

У період розвитку *першої хвилі (кінець ХVІІІ сторіччя)* провідну роль відіграли винаходи та структурні перетворення у текстильній промисловості та виробництві чавуну. Зростання у період *другої хвилі (середина ХІХ сторіччя)* було зумовлене, перш за все, будівництвом залізниць, розвитком морського транспорту. *Третя хвиля (кінець ХІХ- початок ХХ сторіччя)* була пов'язана з винаходами у сфері електроніки та масовим впровадженням електрики, радіо та інших інновацій. Кожна велика хвиля складається із зростаючої та із понижуючої на півхвиль. Основну роль у зміні циклічних хвиль розвитку економіки відіграли інновації, які призводили до змін технологічних укладів.

Технологічний уклад характеризується домінуючими прийомами і способами отримання, обробки і переробки сировини, матеріалів та виробів. На даний час виділяють вже сім технологічних укладів. Домінуючими в розвинутих країнах є технології 5-го укладу. Технології 6-7 укладів тільки народжуються.

Найдовші *перший та другий* уклади характеризувались відповідно домінуванням текстильної промисловості та виплавки чавуну (1-й) та будівництвом залізниць, створенням та використанням парових двигунів (2-й). *Третій* технологічний уклад виник наприкінці XIX сторіччя і спирався на промислову механізацію праці. Його становлення передбачало розвиток електротехнічного і важкого машинобудування, виробництво і прокат сталі, важке озброєння, суднобудування, неорганічна хімія тощо. *Четвертий* уклад (1940-1990 р.р.) передбачав розвиток автомобілебудування, моторизованого озброєння, виробництво синтетичних матеріалів, кольорової металургії, продуктів органічної хімії, електронної промисловості тощо.

П'ятий технологічний уклад (почався з 1990 року, закінчення його дії очікується приблизно 2020 року) може бути визначений як уклад інформаційних і комунікаційних технологій. Ключовими галузями цього укладу є мікроелектроніка і програмне забезпечення. *Шостий* технологічний уклад також розпочався з середини 90-х років минулого століття і полягає у розвитку біотехнологій, нанотехнологій, фотоніки, оптоелектроніки, аерокосмічної промисловості, а також видобутку електроенергії з нетрадиційних джерел. Ці галузі зараз розвиваються у провідних країнах особливо швидкими темпами (іноді від 20% до 100% на рік). *Сьомий* технологічний уклад розпочнеться років через 30 використанням енергії води на основі термоядерного синтезу. В цілому, якщо проаналізувати зміну технологічних укладів в історичному розрізі, можна помітити, що час панування укладів неухильно скорочується. Це пов'язано з підвищенням ролі і значення інновацій в економічному розвитку, а також з активізацією інноваційної діяльності як окремих компаній, так і цілих держав.

Якщо на державному рівні не підтримуються інновації, то країна фактично позбавляється шансів «включитися» до динаміки змін технологічних укладів, тобто шансів вийти в економічні лідери.

За даними Державної служби статистики України у 2014 р. кількість організацій, що здійснювали наукову і науково-технічну діяльність, становила 999 одиниць.

В Україні паралельно співіснують і відтворюються незалежно один від одного різнотипні технологічні уклади. За даними Інституту економіки і прогнозування НАН України біля 40% обсягу промислової продукції в Україні припадає на 3-й технологічний уклад, на 4-й – 50%, на 5-й - 3%, на 6-й технологічний уклад, що визначає перспективи високотехнологічного розвитку країни в майбутньому, в Україні відсутній [2].

Щодо інвестицій, які, по суті, визначають економічні перспективи на найближчі 10-15 років, то 90% всіх інвестицій спрямовуються в 3-й і 4-й технологічні уклади (30% та 60% відповідно), і тільки 8,6% інвестицій – у 5-й технологічний уклад. У технологічній частині капітальних вкладень (технічне

переозброєння і модернізація) на 83% домінує 3-й технологічний уклад і лише 10% припадає на 4-й.

Питома вага інноваційно активних підприємств України у складі СРСР у 80-тих роках минулого сторіччя у складі СРСР становила 60-70%. На старті незалежності України протягом 1992-1995 р.р. – 20-25%, у 2000 вона була 18%, у 2009 році склала лише 12,8%. У 2014 р. інноваційну діяльність у промисловості провадили 1609 підприємств, що становило 16,1% від загальної кількості промислових підприємств по Україні.

Для порівняння, країни Європи мають від 26-29% (Португалія, Греція) до 67-74% (відповідно, Австрія, Німеччина, Данія, Ірландія).

Аналіз імпорту товарів інноваційного характеру свідчить, що на сектор низьких технологій припадає біля 50% обсягу імпорту, на сектор середніх технологій біля чверті, а на сектор високих технологій – лише біля 10%.

Ці дані демонструють, що технічний рівень більшості виробництв України відстає від рівня західних країн на десятки років. Причому, технологічне відставання збільшується, адже кожен наступний технологічний уклад є менш тривалим і більш глибоким за характером соціально-економічних змін, ніж попередній.

Більшість економічно розвинених країн надають державним коштом підтримку розвитку інноваційної діяльності: 17,2% - Франція, 22% - Англія, 39,5% Німеччина, 47,2% Фінляндія, Україна має 4,5%.

Встановлена законодавством норма бюджетного фінансування наукової і науково-технічної діяльності (1,7% ВВП), за оцінками В.П. Семиноженка, ніколи не виконувалась [2]. Загальний обсяг фінансування інноваційної діяльності у відсотках до ВВП склало: у 2000 р. 1%, найбільшим за період 2000-2014 рр. було у 2007 р. - 1,5% , у 2011 р. відповідно – 1,1%, 2012 р. - 0,8%, 2014 р. - 0,5%.

За даними Євростату, частка обсягу витрат на наукові дослідження та розробки країн ЄС-28 у ВВП становила 2,01%. Більшою за середню частка витрат на дослідження та розробки була у Фінляндії – 3,31%, Швеції – 3,3%, Данії – 3,06%, Німеччині – 2,85%, Австрії – 2,81%, Словенії – 2,59%, Франції – 2,23%, Бельгії – 2,28%; меншою – у Чорногорії, Румунії, Кіпрі, Латвії та Болгарії (від 0,38% до 0,65%) [4].

В аналітичній доповіді Світового банку “Ведення бізнесу 2015” наводиться рейтинг 189 держав світу за показником створення сприятливих умов для ведення бізнесу. Україна ввійшла в сотню країн рейтингу Світового банку за індексом Doing Business 2015, поліпшивши за рік свої показники відразу на 16 пунктів, і посіла 96-е місце рейтингу. У 2016 р. країна ще поліпшила свою позицію до 86 місця. На 2017 р. поставлено завдання просунути в цьому рейтингу до 80-ї позиції.

У Глобальному індексі конкурентоспроможності у 2014-2015 рр., Україна піднялася на 8 позицій і посіла 76 місце серед 144 країн. У Глобальному інноваційному індексі 2014 р. Україна посіла 63 місце серед 143 країн світу, набравши 36,3 бали зі 100 можливих, поліпшивши свою позицію на 8 місць. За Індексом інноваційної ефективності, що характеризує створення сприятливих умов

для сприяння інноваційній результативності, у 2014 році Україні належить 14 місце серед 143 досліджуваних країн. Для порівняння у 2013 році Україна посідала 31 місце. Це свідчить про зростання ефективності інноваційної діяльності в країні [5].

Україна відчула вплив глобалізації ще з перших років державної незалежності, що дало нові можливості щодо доступу до культурних, інтелектуальних та технологічних досягнень світової спільноти. Україна постійно втягується в процес глобалізації. З цього боку, її шанси отримати переваги від глобалізації, зростають. Науковий потенціал та позитивна динаміка поліпшення внутрішнього середовища для розвитку бізнесу дають надію на те, що Україні посяде гідне місце серед розвинутих країн світу.

Список літератури: 1. *Геєць В.М.* Інноваційні перспективи України / *В.М. Геєць*, *В.П. Семиноженко*. – Харків: «Константа», 2006. – 271 с. 2. *Семиноженко В.П.* Україна в 2020 році: дві версії одного майбутнього / *В.П. Семиноженко* // Урядовий кур'єр. – 2010. – №150. – С.18-19. 3. Нанотехнологія і її інноваційний розвиток: Монографія / Пономаренко В. С., Назаров Ю. Ф., Свідерський В. П. Ібрагімов І. М. – Харків: ВД «Інжек», 2007. – 237 с. 4. Євростат (GERD). Електронний ресурс: <http://ec.europa.eu/eurostat/> 5. Дзеркало тижня. 08.10.2016. Електронний ресурс: <http://gazeta.dt.ua/science/ukrayinska-nauka-naslidki-politiki-urizannya-.html>

УДК 378.147:33

ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ЯК ПОШТОВХ ДЛЯ ЗМІН У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ЕКОНОМІЧНОГО ПРОФІЛЮ

Свідерський В. П., докт. техн. наук, проф.,

Шаповалова Н.П., ст. викл.

(Харківський інститут бізнесу і менеджменту, Харків, Україна)

Автори розкривають суть інноваційних процесів у промисловості та їх вплив на підготовку майбутніх фахівців економічного профілю, визначають зовнішні й внутрішні чинники, що впливають на розвиток економічної освіти у сучасних умовах

Ключові слова: *інновації, інноваційні процеси, економічна культура, економічна освіта, фахівці економічного профілю*

Авторы раскрывают суть инновационных процессов в промышленности и их влияние на подготовку будущих специалистов экономического профиля, определяют внешние и внутренние факторы, влияющие на развитие экономического образования в современных условиях

Ключевые слова: *инновации, инновационные процессы, экономическая культура, экономическое образование, специалисты экономического профиля*

The authors reveal the essence of innovation processes in industry and their impact on training of future specialists in economics, determine the internal and external factors affecting the development of economic education in modern conditions.

Keywords: *innovation, innovation processes, economic culture, economic education, specialists in economics*

Суспільне виробництво включає два взаємозв'язані процеси: функціонування і розвиток. Для управління першим з них потрібно постійно відновлювати виробництво, підтримуючи його в передбаченому стандартами і технічними

умовами стані, забезпечувати ритмічний випуск продукції встановленої якості, її доставку споживачам і так далі. Управління розвитком виробництва має мету – зміна його стану, перетворення до заздалегідь наміченого ріння, що відповідає або перевищує вищі світові досягнення, на основі нововведень (інновацій).

Нововведення (технічне, технологічне, організаційне, соціально-економічне) – цілеспрямована зміна, що свідомо вноситься до процесу відтворення для кращого задоволення існуючої суспільної потреби, або формування нової. Під інновацією мається на увазі процес її створення, освоєння, поширення і результат – нові вироби, технології, форми і методи організації виробництва, праці і управління, що приносять соціально-економічний ефект.

Створення і освоєння інновацій (нововведень) стає усе більш складною справою, управління якою вимагає особливих професійних знань, і особливого, так званого креативного мислення. Всяке нововведення неминуче порушує регулярне і налагоджене функціонування виробництва, його технічні, організаційні і соціальні зв'язки, пропорції, що склалися. Чим складніше і більше по масштабах це виробництво, чим вище вартість його основних фондів, чим ширше кооперовані зв'язки, тим більше ризик і відповідальність нововведень, радіус їх наслідків в різних галузях і сферах розвитку суспільства, складність економічних обґрунтувань і встановлення нової системи взаємозв'язків. Тому створення і освоєння нововведень стають особливою сферою трудової діяльності, що потребує відповідних фахівців, здатних мислити творчо і бути готових до дій в нових, непередбачуваних умовах.

Велика роль в управлінні і розвитку виробництва відводиться саме фахівцям економічного профілю, від компетентних і професійних дій яких багато в чому залежить і втілення інноваційних процесів як на підприємстві, так і в суспільстві в цілому, адже економіка держави є матеріальною базою розвитку суспільства, а фахівці-економісти тими, хто втілює на практиці принципи раціонального ведення господарства країни в умовах обмежених ресурсів.

Тому надзвичайно велике значення має якісна підготовка саме майбутніх фахівців з економіки, від професійного зростання яких в значній мірі залежить і розвиток самого суспільства.

Головне завдання економічної освіти – формувати активних економічних суб'єктів (індивідів, здатних на мікрорівні впливати на економічні процеси, і на макрорівні – адекватно оцінювати дії держави), а не тільки пасивних споживачів і виробників продукції [3].

Тому економічна освіта повинна крім надання знань, умінь, навичок формувати такі економічну культуру, економічне мислення, економічний досвід особистості, які б допомагали їй адаптуватися до швидкозмінних умов існування, а також дозволяли б впливати на створення сучасного суспільства з високими стандартами життя.

Якщо економічна культура, на думку низки авторів [2], – це відображення в свідомості людей стану економічного життя, сукупність засвоєних економічних знань та вмінь, набутий соціально-економічний досвід суспільства, то слід відзначити, що світоглядні зміни суспільства призводять до зміни парадигми економічної культури. З поступовим руйнуванням менталітету «радянської людини», що

ґрунтувався на ідеї патронату держави, більшість населення починає усвідомлювати, що кожна людина має сама домагатися успіхів, а держава та уряд повинні лише гарантувати і захищати їхні права і свободи. Особливо помітні зміни відбуваються в мисленні та поведінці молоді, що дає надію на підвищення рівня економічної культури суспільства в майбутньому [1], і в цьому провідна роль належить економічній освіті.

Механізм економічної освіти охоплює декілька етапів. На думку О.Аксьонової, цих етапів три:

- етап засвоєння економічних знань. Він визначається рівнем теоретичної розробки економічних знань, правильним їх відбором для засвоєння, рівнем теоретичної та методичної підготовки викладачів, інтересом тих, хто навчається, до економічної теорії, поєднанням різних ефективних форм навчального процесу;

- етап перетворення економічних знань на переконання й установки особистості, тобто знання повинні бути пережиті, пропущені через почуття і емоції тих, хто навчається, засвоєні за допомогою власного досвіду. Тут велику роль відіграє виховна складова економічного навчання. На цьому етапі формується професійна спрямованість особистості, обсяг знань стає ознакою компетентності, як здатності до виконання конкретних професійних умінь;

- етап, мета якого – набуті досвід застосовувати знання в економічній діяльності – навички та вміння доводяться до автоматизму і реалізуються на високому рівні професійної майстерності [1].

Ми погоджуємося з В. Пономаренко, який вважає, що існує ще четвертий етап економічної освіти – навчити студентів не тільки результативно використовувати набуті знання, вміння та навички у професійній та соціальній діяльності, але й навчити їх синтезувати нові знання, а в кінцевому підсумку – формувати компетентного фахівця, здатного до виконання професійних обов'язків безпосередньо після закінчення ВНЗ, без витрачання зайвого часу на пристосування до умов праці та на перенавчання [5].

Уважаємо за необхідне зазначити, що на сучасний стан економічної освіти в нашій країні впливає низка чинників та суперечностей, що умовно можна поділити на зовнішні і внутрішні.

До зовнішніх чинників можна віднести [6]:

- формування інформаційного суспільства, де відбувається перехід від суспільства товарної економіки до інтелектуально-творчої, інноваційної в якому ключовими стають сфери виробництва знань та послуг, зокрема й нових економічних знань, а традиційна матеріально-грошова форма власності поступається інтелектуальній формі;

- глобалізацію економічних та фінансових зв'язків у світі, що призводить до необхідності стандартизації у веденні економічної документації та розрахунках;

- велика швидкість накопичування нових знань, що вимагає своєчасного їх засвоєння, осмислення та застосування на практиці.

Внутрішні чинники, що впливають на розвиток економічної освіти та підготовку майбутніх фахівців економічного профілю в нашій країні:

- політична і економічна кризи в країні, що призводять до необхідності їх подолання зі застосуванням новітніх економічних знань та світового досвіду розвинутих країн;

- структурні зміни в національній економіці потребують підготовки працівників для малих і середніх підприємств недержавної форми власності, здатних працювати в умовах конкурентного середовища [3];

- недосконалість національного юридично-правового забезпечення та податкового законодавства і, як наслідок, тінізація економіки країни, що зумовлює велику різницю між ідеальним та реальним у викладанні економіки – як повинно бути і як є насправді;

- розрив зв'язків з минулим і одночасне намагання інтегруватися в європейський економічний простір;

- патерналізм мислення, який залишився ще з радянських часів у деяких викладачів, та необхідність формування у нового покоління студентів нових ціннісно-світоглядних настанов, притаманних ринковій економіці;

- зростання попиту з боку роботодавців на висококваліфікованих фахівців економічного профілю, які здатні: до самостійного, якісного, вчасного виконання завдань; до пошуку і аналізу необхідної інформації; до співпраці у процесі вирішення проблем; до прийняття рішень в умовах невизначеності; до самовдосконалення і саморозвитку тощо.

Отже, суспільство, маючи в своєму розпорядженні матеріальний потенціал, діючи під впливом різних умов, створюючи і використовуючи інновації, обумовлює прогрес (технічний, суспільний, організаційний і так далі), що робить вирішальний вплив на темпи суспільно-економічного розвитку, рівень життя і умови праці. Суспільний розвиток змушує підприємства до проведення постійних змін у всіх сферах їх діяльності. Ці зміни органічно включають інноваційні процеси. Всі ці обставини, у свою чергу, підштовхують до пошуку нових підходів і методів стосовно якісної підготовки майбутніх економістів, здатних до професійного зростання та прийняття ефективних рішень в умовах швидкозмінного середовища.

Список літератури: 1. Аксьонова О. В. Методика викладання економіки: Навч. посібник / О. В. Аксьонова – К.: КНЕУ, 1998. – 280 с. 2. Методика викладання економіки: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. / І. А. Балягіна, М. А. Богорад, Г. О. Ковальчук. – К.: КНЕУ, 2003. – 341 с. 3. Ковальчук Г. О. Активізація навчання в економічній освіті / Г. О. Ковальчук. – К.: КНЕУ, 2003. – 298 с. 4. Пономаренко В.С. Проблеми підготовки компетентних економістів та менеджерів в Україні: монографія / В. С. Пономаренко.– Харків: ВД "ІНЖЕК", 2012. – 327 с. 5. Нанотехнологія та її інноваційний розвиток. Монографія / В. С. Пономаренко, Ю. Ф. Назаров, І. М. Ібрагімов, В. П. Свідерський. – Харків: ВД «ІНЖЕК» 2008, – 280 с. 6. Шаповалова Н. П. Компетентісний підхід – умова підвищення якості фахової підготовки майбутніх спеціалістів економічного профілю в сучасних умовах / Н. П. Шаповалова // Педагогіка та психологія: Збірник наукових праць /за заг. редакцією академіка І.Ф. Прокопенка, В.І. Лозової. – Харків: ХНПУ, 2016.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПІДРОЗДІЛІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ТА ПІДГОТОВКА ПЕРСОНАЛУ

Новіков Д.Ф., аспірант

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості організації виробництва в умовах ринкової економіки. Показана необхідність удосконалення взаємозв'язку між технічними і економічними підрозділами підприємства.

Ключові слова: підприємство, служба збуту, персонал, підрозділ, продукція, яку постачають, конкурентна боротьба.

Рассмотрены особенности организации производства в условиях рыночной экономики. Показана необходимость усовершенствования взаимосвязи между техническими и экономическими подразделениями предприятия.

Ключевые слова: предприятие, служба сбыта, персонал, подразделение, выпускаемая продукция, конкурентная борьба.

The features of the organization of production in a market economy. The necessity to improve the relationship between technical and economic departments.

Keywords: enterprise, sales service personnel, division, manufactured products, competition tools.

Застосовувані підходи до розвитку підприємств на одному з етапів розвитку світової промисловості призвели до її масштабної кризи. Причиною цієї кризи стала відсутність координації на промислових підприємствах між виробничими і економічними підрозділами [1, 2], оскільки головним завданням керівництва підприємства було збільшення обсягів виробництва та якості продукції, що випускається, а завдання забезпечення реалізації виробленої продукції відсувалося на другий план.

Усунути кризу вдалося за рахунок зміни структури підприємства, поставивши на перше місце економіко-збутові служби. У різних країнах, через відмінності економічного вектора розвитку, структура і завдання економіко-збутових служб відрізнялися, проте незначно.

Особливістю промислових підприємств в країнах, де ринкова економіка функціонує вже понад 100 років, є те, що збутові служби ведуть постійну конкурентну боротьбу на ринку за право реалізації кожної одиниці продукції. Для цього постійно удосконалюються технології виробництва для мінімізації вартості виробництва і підвищення якості продукції.

В СРСР також точилася гостра конкурентна боротьба за ринки збуту, але не промисловими підприємствами, а різними НДІ і КБ, оскільки промислові підприємства виступали в ролі виробничого майданчика для виробництва товарів, які перемогли в цій конкурентній боротьбі.

Одним із основних завдань економіко-збутових служб був аналіз виробничих потужностей підприємства і отримання під наявні потужності державного замовлення в профільних міністерствах. Економіко-збутові служби підприємства аналізували обсяги продукції, необхідні державі в цілому, та виробничі потужності альтернативних виробничих підприємств. Виходячи з аналізу, ви-

значалися обсяги продукції, які можна доручити даному підприємству, і наявність потужностей для виконання отриманого замовлення.

На чолі підприємства стояли економіко-збутові служби, але їх координація з виробничими службами була мінімальна. Економіко-збутові служби повідомляли в виробничі служби планову дату випуску певної кількості товару. Ціна на дану продукцію впливала мінімально, тому що держава готова була придбати якісно виготовлену продукцію практично за будь-яку ціну. Транспортні поставки в мінімальній кількості змінювалися в процесі виробництва товару, так як багато постачальників створювалися під конкретного виробника. Головним завданням постачальника була поставка не економічно ефективної продукції, а постачання сировини і комплектуючих виробів з урахуванням графіка і мінімізації порушення виробничого плану.

З переходом вітчизняних підприємств на ринкові відносини державне замовлення різко зменшилося, і держава все більше уваги стала приділяти зниженню ціни на ці замовлення. Основна частка замовлень надходила від комерційних підприємств, для яких товар, що купується, повинен бути дешевим і технічно ефективним. Почалася активна конкурентна боротьба за ринки збуту.

Перемогти в такій боротьбі можна, в основному, за рахунок уміння постійно знижувати витрати на виробництво, одночасно підвищуючи якість продукції, що випускається. Для цього необхідна постійна координація дій між економічними і виробничими службами підприємства.

На практиці в більшості випадків така координація має номінальний характер: вище керівництво заявляє, що постійно здійснюється взаємодія між всіма відділами підприємства, але реально створюється враження, що між виробничими і економічними структурами підприємства існує "стіна".

Виробничі підрозділи, отримавши затверджений виробничий план, займаються виключно випуском продукції і підвищенням її якості. Питання щодо зниження витрат на виробництво носять поверхневий характер – реального зниження від технічних фахівців фактично не відбувається. На думку багатьох технічних фахівців, якщо виробляти технічно ефективну продукцію, то її собівартість сама по собі буде мінімальною.

Економічні служби займаються поліпшенням економічних показників, але при цьому часто не враховують особливості виробництва тієї чи іншої продукції. Недоліком роботи економічних підрозділів є відсутність технічних знань, що призводить лише до поверхневого поліпшення економічних показників.

Прикладом є випадок, коли служба контролінгу відхиляє закупівлю партії металорізального інструменту конкретного виробника, тому що існує інший виробник, який пропонує за аналогічний товар меншу ціну. На думку співробітника служби контролінгу, для підприємства було зменшено статтю витрат на закупівлю інструментів, але реально стаття витрат була збільшена через необхідність закупівлі в натуральному вираженні більшої кількості інструментів, тому що дешевий інструмент часто має гірші технічні характеристики й термін його використання значно нижчий. Помилка, допущена співробітником служби

контролінгу, полягає в тому, що він не знайомий детально з процесом металообробки і не в змозі оцінити економічну віддачу від конкретного товару.

Технічні співробітники, що займаються металообробкою на підприємстві, не можуть максимально точно визначити економічну віддачу від конкретного інструменту через те, що у вищих навчальних закладах на технічних спеціальностях питання економіки розглядаються недостатньо. Основна інформація про економічно обґрунтоване використання сучасних зарубіжних інструментів береться з джерел фірм-виробників. Але при цьому не розглядається вплив різних макроекономічних чинників, які відрізняються для різних економічних моделей розвитку кожної держави.

Для поліпшення техніко-економічних показників підприємства необхідно збільшувати кількість контактів між технічними і економічними службами, створювати спільні робочі групи з фахівців економічного і технічного спрямування.

Діяльністю робочих груп має стати розробка показників для кожного підрозділу, які здатні оцінити ступінь одночасної ефективності виготовлення продукції з точки зору ціна / якість. Ці показники повинні показати кожному співробітнику підприємства (від робітника до керівників усіх підрозділів), як їх дії чи бездіяльність в певній ситуації може вплинути на кінцеве завдання підприємства: реалізувати вироблену продукцію і отримати прибуток [3–8].

Основною проблемою в цьому напрямку розвитку підприємства може бути неузгодженість між вищими навчальними закладами і підприємствами, так як вищі навчальні заклади будуть продовжувати готувати майбутніх фахівців за старою програмою, а підприємства будуть вимагати від них зовсім інших рішень.

Тому необхідно підвищувати ефективність реалізації проекту розробки показників за участю робочих груп, а з боку держави забезпечити зміни в навчальних програмах навчання фахівців.

На економічних спеціальностях в рамках ознайомлення необхідно розглядати технічну складову будь-якої галузі: машинобудування, будівництва або хімічної галузі. Це дозволить молодому фахівцеві, прийшовши на підприємство, мати мінімальні уявлення про те, чим займаються технічні підрозділи підприємства і як це все працює.

Для технічних спеціальностей необхідно збільшити обсяги вивчення економіки, зокрема, вивчення впливу кожного технічного рішення на економічну ефективність діяльності підприємства.

Список літератури: 1. *Гриньова В.М.* Організація виробництва: підручник / *В.М. Гриньова, М.М. Салун.* – Х.: ВД “ІНЖЕК”, 2007. – 576 с. 2. [<http://bibliotekar.ru/economika-predpriyatiya-4/73.htm>]. 3. *Новиков Д.Ф.* Особенности коллективной деятельности на предприятии / *Д.Ф. Новиков* // Ресурсосбережение и энергоэффективность процессов и оборудования обработки давлением в машиностроении и металлургии: труды IV научно-технической конференции, 7-9 ноября 2012 г., Харьков. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2012. – С. 83–85. 4. *Новиков Д.Ф.* Совершенствование методов коллективной деятельности на предприятиях малого бизнеса / *Д.Ф. Новиков* // Физические и компьютерные технологии: труды 18-й Международной научно-технической конференции, 5–6 декабря 2012, г. Харьков. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2012. – С. 220–223. 5. *Новиков Д. Ф.* Умови створення конкурентоспроможної машинобудів-

ної продукції / Д. Ф. Новіков, Є. Ю. Бенін // Управління розвитком. Збірник наукових робіт. – Х.: ХНЕУ, 2013. – № 2(142). – С. 90-92. 6. Новіков Д.Ф. Инвестиционная деятельность при модернизации машиностроительных предприятий / Д.Ф. Новіков // Труды 19-й Международной научно-практической конференции “Физические и компьютерные технологии”. – Харьков: ГП ХМЗ “ФЭД”, 2014. – С. 153-156. 7. Новіков Д.Ф. Методика инвестиционного планирования технического перевооружения промышленного предприятия / Д.Ф. Новіков // Физические и компьютерные технологии: труды 20-й междунар. научн.-практ. конф. – Д.: ЛИРА, 2015. – С. 222-225. 8. Новіков Д.Ф. Інвестиційне планування технічного переозброєння промислового підприємства / Д.Ф. Новіков // Молодіжний економічний вісник ХНЕУ ім. С. Кузнеця: Електронний журнал. – №12, грудень 2015. – С. 311–313.

УДК 351.34

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМИ «EVENT-МАРКЕТИНГ» ДЛЯ ТУРИСТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Небилиця О.А., канд. екон. наук, доц., **Мумінова Ф.Р.**, студентка 4 курсу
(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості складових програми event-маркетингу. Наведено основні особливості родієвого маркетингу. Представлено основний маркетинговий інструментарій сучасної маркетингової діяльності підприємств.

Ключові слова: event-маркетинг, подієвий маркетинг, маркетингові інструменти, маркетингова діяльність

Рассмотрены особенности составляющих программы event-маркетинга. Приведены основные особенности родиевого маркетинга. Представлены основной маркетинговый инструментарий современной маркетинговой деятельности предприятий.

Ключевые слова: event-маркетинг, событийный маркетинг, маркетинговые инструменты, маркетинговая деятельность

The features of the components of event-marketing programs. The basic features of rhodium marketing. The basic marketing tools of modern marketing activity.

Key words: event-marketing, event marketing, marketing tools, marketing activity

Своєрідність рекламного туристичного ринку в Україні полягає в його динаміці. Межі цього ринку безперервно розширюються за рахунок появи нових туристських підприємств і, відповідно, нових клієнтів. Реклама в інтересах ринку наполегливо нав'язує аудиторії свої цінності, активно формує масову свідомість, тиражуючи моральний кодекс і життєві орієнтації її замовників. Таким чином, в Україні в умовах ринкових відносин починає створюватися свій український рекламний ринок послуг.

Діяльність на туристському ринку в області реклами свого бізнесу досить складна, і її успіх в чималому ступені пов'язаний з наявністю у споживачів позитивного емоційно-оцінного ставлення та соціально-психологічної готовності до якісного відпочинку.

Залежно від цілей, які визначаються конкретною ринковою ситуацією, реклама в туризмі може ефективно вирішувати завдання [1]: інформування

(формування обізнаності і знання про нову послугу, конкретну подію, про фірму і т.п.); вмовляння (поступове, послідовне формування переваги, відповідного сприйняття споживачем образу фірми і її товарів; переконання покупця зробити покупку; заохочення факту покупки і т.д.); нагадування (підтримка обізнаності, утримання в пам'яті споживачів інформації про товар в проміжках між покупками; нагадування, де можна купити даний товар) і інші завдання.

В туристичній діяльності існує широка класифікація реклами. Залежно від об'єкта рекламування можна виділити два види реклами: товарна і престижна. Основне завдання товарної реклами - формування і стимулювання попиту на туристський продукт. Престижна реклама, являє собою рекламу достоїнств, що вигідно відрізняють фірму від конкурентів.

Залежно від характеру і особливостей рекламного звернення розрізняють інформативну, яка переконує і нагадує рекламу. Основним завданням інформативною реклами є доведення до потенційних клієнтів інформації про фірму, послуги, їх характеристики, достоїнства, нововведення.

За способом впливу на цільову аудиторію слід розрізняти раціональну та емоційну рекламу. Раціональна реклама інформує, звертається до розуму потенційного клієнта, наводить аргументи, найчастіше у словесній формі, для його переконання. Емоційна реклама звертається до почуттів, емоцій, спогадів, впливає через асоціації. Її улюблений засіб - ілюстрації і в меншій мірі - звук.

По спрямованості розрізняють рекламу можливостей і рекламу потреб туристської фірми [3]. Реклама можливостей покликана інформувати цільові аудиторії про можливості підприємства в області надання туристичних послуг.

Ознака сконцентрованості на певному сегменті цільової аудиторії дозволяє розрізняти: селективну (виборчу) рекламу, чітко адресовану певній групі споживачів (ринкового сегменту); масову рекламу, спрямовану на широке коло реальних і потенційних споживачів, а також громадськість в цілому [3].

Залежно від охоплення рекламною діяльністю території виділяються: локальна реклама (масштаби - від конкретного місця продажу до території окремого населеного пункту); регіональна - охоплює певну частину країни; загальнонаціональна; міжнародна.

Залежно від засобів поширення розрізняють: рекламу в пресі; пряму поштову рекламу; друковану рекламу; аудіовізуальну рекламу; комп'ютеризовану рекламу; з використанням рекламних сувенірів.

Значну роль в рекламі туристичних послуг потрібно віднести event-маркетингу. Event-маркетинг – це особливий різновид індустрії розваг, в тому числі і туризму, яка значно зросла за останні кілька років. Дана галузь стрімко розширюється, захоплюючи все нові і нові території і сфери культури. В індустрії туризму велику роль відіграє створення подієвих програм, проведення анімацій і різних заходів, адже саме по собі явище туризму є одним з найбільш активних і цікавих видів дозвілля [4]. Маркетинг подій є ефективним способом поліпшення корпоративного іміджу, диференціювання продуктів або послуг і підвищення як продажів, так і ступенем прихильності споживачів компанії. Маркетинг подій пов'язує компанію або бренд з деяким соціальним подією, явищем. З точки зору PR і спонсорства, мова йде про створення інформаційно-

новинного приводу або розробці і реалізації програм спеціальних подій для просування бренду.

Програма подієвого маркетингу в туризмі може здійснюватися у вигляді стратегічного альянсу компанії з організацією, що працює в обраному напрямку, або у вигляді роботи з соціальним явищем безпосередньо.

Серед інших рекламних інструментів подієвий маркетинг має ряд відмінностей: марка повинна бути тотально присутньою в подію – починаючи з логотипів компанії на білбордах, брошурах, сувенірної продукції і закінчуючи самим сюжетом події. Відвідувач ні на хвилину не повинен забувати, хто організував його дозвілля: подієвий захід неодмінно має мати таку назву, яка міцно асоціюється з брендом; все те, що відбувається має бути безпосередньо пов'язане з брендом; подієвий захід повинен залучати аудиторію, ідентичну цільовій групі споживачів продукту; подієвий захід повинен нести ту ж емоційне навантаження, що і марка. Вибір неналежного заходу може негативно позначитися на іміджі бренду або неправильно його комунікувати; будь-який захід не є самодостатнім і проведення заходів не є кінцевою метою зв'язків з громадськістю.

Перш ніж організувати будь-яку подію, необхідно вирішити ряд питань пов'язаних із загальною маркетинговою політикою компанії. В першу чергу, провести аналіз плану маркетингу, і показників, яких необхідно досягти. Далі поставити завдання і цілі, визначити критерії визначення ефективності проведеного заходу. Етап реалізації передбачає вибір події і розробку пакету творчих і організаційних пропозицій, які забезпечують необхідний маркетинговий результат.

Пакет пропозицій може включати концептуальне обґрунтування, сценарій, опис презентацій, конкурсів, розважальних заходів, пропозицій по організації промоушн компанії, перелік засобів рекламної підтримки і т.д. Наступний етап – складання прогнозу ефекту від проведення програми, можливого громадського, культурного і соціального резонансу.

Стосовно рівня витрат на проведення заходу, які несе організація, то вони повинні бути ефективними з точки зору одержуваних вигод. Також залучення професійних виконавських ресурсів дозволяє реалізувати програму подієвого заходу максимально ефективно і відповідно організувати і провести окремі заходи для компанії-замовника всередині події згідно з розробленою програмою. Ефективність результатів проведеного заходу можна буде оцінити за кількістю публікацій у пресі, поширених листівок, обсягами продажів товару в ході його проведення.

Список літератури: 1. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / *Жан-Ноэль Капферер* ; [пер. с англ. *Е. В. Виноградовой* ; под общ. ред. *В. Н. Домнина*]. – М. : Вершина, 2007. – 448 с. 2. *Котлер Ф.* Маркетинговый менеджмент : навч. посіб. / *Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко* та ін. – К. : Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с. 3. *Романцов А. Н.* EVENT-маркетинг. Сущность и особенности организации: практ. пособие / *А. Н. Романцов*. – М.: Дашков и К, 2009. – 116 с. 4. *Ячменникова Е. А.* Событийный маркетинг, или Как делать event / *Е.А. Ячменникова* // *Маркетинговые коммуникации*. – 2010. – № 4. – С. 224-232.

МАРОЧНА СТРАТЕГІЯ ПІДПРИЄМСТВА

Гарафонова О.І., докт. екон. наук, проф.

(Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна)

Дроздов А.В., студент 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості марочної стратегії підприємства. Наведено основні особливості використання видів стратегій в управлінні підприємством.

Ключові слова: бренд, торгова марка, марочна стратегія, стратегії маркетингу.

Рассмотрены особенности марочной стратегии предприятия. Приведены основные особенности использования видов стратегий в управлении предприятием.

Ключевые слова: бренд, торговая марка, марочная стратегия, стратегии маркетинга.

Features branding strategy. The basic features of application types statehiy in enterprise management.

Key words: Brand, branded strategy, marketing strategy.

В даний час компанії стикаються з багатьма проблемами і труднощами. Їм доводиться конкурувати не тільки з компаніями своєї країни, але і з іноземними фірмами. Кожна компанія повинна не тільки залишитися на вітчизняному ринку, але і намагатися виходити на міжнародні ринки. У цих умовах зростає роль маркетингу як процесу досягнення найбільш ефективного розміщення активів організації таким чином, щоб вона могла досягти поставлених перед собою цілей.

Крім того, варто зазначити, що метою маркетингу є не тільки отримання вигоди для компаній, але і побудова довгострокових відносин зі споживачем, задоволення їхніх запитів, підвищення якості товарів і послуг, поліпшення умов їх придбання.

Щороку на ринку з'являється величезна кількість нових товарів, переважна більшість товарних категорій представлені кількістю марок, що обчислюються десятками і навіть сотнями.

Нові сегменти ринку, ледь сформувавшись, стрімко заповнюються товарами, мало відрізняються за своєю суттю. І, природно, кожен виробник хоче привернути увагу споживачів саме до свого товару, для чого використовується реклама, дроблення ринку і концентрація маркетингових зусиль на певних територіях, позиціонування та інші методи.

Але так само важливо, щоб продукт уособлював важливі і цінні для людини якості, щоб покупець вибрав саме цей продукт. Виробникові потрібен бренд.

Залежно від останнього поділу, можна виділити декілька стратегій торгових марок. Під назвою «стратегія створення марки/розвитку торгової марки» насправді лежать дослідження стратегічної послідовності дій, які для деяких підприємств-виробників виливаються у необхідність новоутворення марки або ширшої розкрутки вже існуючої марки [1]. Так, можна виділити наступні стратегії торгових марок:

стратегія марки-унікуму;

стратегія корпоративної марки;

стратегія розширення сімейства марки (стратегія розширення марки).

У традиційному випадку, як зазначено вище, при розробці нової торгової марки (товарного знака) необхідно враховувати два критерії [3]:

1. Охороноздатність, під якою розуміється можливість відповідно до законодавства зареєструвати марку, а значить - захистити її від підробок і недобросовісного використання. Зареєстрована марка стає інтелектуальною власністю власника.

2. Рекламоздатність, під якою розуміється оригінальність і запам'ятовуваність марки, що дозволяють однозначно ідентифікуватися у свідомості споживачів з певною фірмою або товаром, а також зручність її використання в рекламних матеріалах.

Таким чином, від розробки ефективної торгової марки залежить подальший розвиток підприємства, його конкурентоздатність, успішність на ринку, що, в свою чергу, безпосередньо відображається на прибутковості підприємства загалом.

Розробка власних марок товарів означає, що керівництво підприємства усвідомлює хоча б частково необхідність інформаційної конкуренції і починає її здійснювати [2]. Творчий характер процесу створення марки, а також необхідність урахування психологічних факторів сприйняття марочних складових потенційними споживачами зумовлює необхідність участі в цьому процесі фахівців рекламних і маркетингових агентств поряд з менеджерами і юристами фірми.

Створюючи нові торгові марки, необхідно уважно вивчати кращі світові зразки аналогічних товарних груп, особливо в частині упаковки і колірної гами, які не мають коштів юридичного захисту. Це дозволить уникнути можливого конфлікту інтересів.

Список літератури: 1. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / *Жан-Ноэль Капферер* ; [пер. с англ. *Е. В. Виноградовой* ; под общ. ред. *В. Н. Домнина*]. – М.: Вершина, 2007. – 448 с. 2. *Келлер К. Л.* Стратегический бренд-менеджмент: создание, оценка и управление марочным капиталом / *К. Л. Келлер*. – [2-е изд.]: [пер. с англ.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 704 с. 3. *Котлер Ф.* Маркетинговый менеджмент: навч. посіб. / *Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко* та ін.: К.: Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАРКЕТИНГОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ У МАРКЕТИНГОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Кудлай В.С., канд. екон. наук, доц.

(Київський національний торговельно-економічний університет, Київ, Україна)

Лисицька Д.Д., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості маркетингової діяльності підприємства. Наведено основні особливості використання різних видів маркетингових інструментів в управлінні підприємством.

Ключові слова: маркетингові інструменти, маркетингова діяльність, управління маркетингом

Рассмотрены особенности маркетинговой деятельности предприятия. Приведены основные особенности использования различных видов маркетинговых инструментов в управлении предприятием.

Ключевые слова: маркетинговые инструменты, маркетинговая деятельность, управление маркетингом

Features of marketing of the company. The basic features of the use of different types of marketing tools in enterprise management.

Key words: marketing tools, marketing activity, marketing management

В умовах становлення інформаційно-інноваційної економіки суттєво змінюється структура суспільного виробництва. Сьогодні значну роль в економіці розвинутих країн грають підприємства нематеріальної сфери діяльності, зокрема торговельні, сервісні, телекомунікаційні, медійні організації. Стрімка зміна економічного, інформаційного, техніко-технологічного і соціального середовища таких підприємств принципово змінило методи пошуку і механізм забезпечення їх конкурентних переваг. Тому пошук дієвих маркетингових інструментів і механізмів підвищення ефективності маркетингової діяльності набувають особливої актуальності.

Маркетинговий відділ на підприємстві може розпоряджатися великою кількістю інструментів, при цьому кожен із них потребуватиме чимало витрат. Тому в обов'язки маркетолога входить пошук оптимального варіанту їх застосування для реалізації маркетингового плану. Для того, щоб обрати ефективні маркетингові інструменти, необхідно відштовхуватися від напрямку діяльності, цілей, завдань, стратегій і можливостей компанії [1]. Розглянемо основні інструменти маркетингу та їх використання у маркетинговій діяльності підприємства [1-3].

1. Товарна політика. Основне правило: «Виробляти те, чого потребує ринок на даний момент, а не просувати те, що змогли б виробляти». Вона несе в собі відповіді на важливі питання - що виробляти, для кого виробляти, в якому вигляді виробляти та якої якості.

2. Цінова політика. Менеджери з маркетингу в категорії «цінова політика» оперують такими інструментами: ціноутворення на товар чи послугу; знижки, акційні ціни, бонуси та програми лояльності; цінова стратегія.

3. Збутова політика. На сьогоднішній день в маркетингу раннє тлумачення визначення «збут» плавно перетікає в більш широкий термін - «дистрибуція». Дистрибуцією називають організацію просування товару від виробника до кінцевого споживача, його розподіл в товарному сегменті і на території, підтримання сервісу після продажу. Дистрибуція відповідає не тільки за безпосередню доставку товару в місце продажу, але й за заходи щодо підтримки продажу, так званий «трейд-маркетинг».

Трейд-маркетинг (торговий маркетинг) - це стимулювання збуту в торговельній мережі серед торгових посередників. Основним завданням трейд-маркетингу є формування дистрибуції та її ефективне функціонування протягом усього маркетингового каналу. Тобто, першим ділом трейд-маркетинг повинен вивчити і задовольнити потреби всієї торгової ланки, при цьому розуміючи, що основна мета ланцюга - отримання максимально можливого прибутку. Процес торгового маркетингу відноситься до заходів в рамках дистрибуції, а не на рівні кінцевого споживача. У деяких випадках трейд-маркетинг відносять до сфери маркетингу. Тут він може розглядатися як комплекс інструментів, за допомогою яких вирішуються завдання по наявності продукції в торгових точках за рекомендованими цінами, і на самих видних місцях. В інших випадках його відносять до області продажу, а також розглядають як дію, що стимулює збут.

Для стимулювання збуту споживачів використовують такі заходи: тимчасові знижки: знижка на товар у певний період часу (наприклад, «щасливі години»); часткове заниження ціни: знижка певного відсотка від звичайної ціни на певний товар; нестандартна упаковка: більша кількість товару за ціною стандартної упаковки; програма лояльності: залучення споживачів збирати бали для подальших знижок на покупки; купони на знижку; повернення частини вартості товару: споживач може отримати певну суму грошей назад, якщо він надсилає чек або штрих-код товару виробникові; ігри, лотереї, конкурси; інформаційний бюлетень про товар чи знижку.

4. Комунікаційна політика визначає, через які методи і за допомогою чого створюватиметься просування товару на ринок. Просуванням служить будь-який спосіб, що використовує компанія для знайомства споживачів із продуктом, їх інформуванням, переконанням і нагадуванням про свою послугу чи товар.

У маркетинговій діяльності підприємства виділяють такі основні інструменти маркетингу комунікаційної політики: реклама; PR-діяльність; брендинг; паблісіті; директ-маркетинг; програми лояльності; спонсорство; стимулювання збуту; особисті продажі. Від особливості товару залежить вибір маркетингових інструментів для просування. Для більш дорогої продукції або товарів виробничо-технічного призначення використовують особистий продаж, товари широкого вжитку частіше користуються рекламою.

Методи просування можуть змінюватися, це залежить від того, на якій стадії життєвого циклу перебуває товар або послуга. Такі методи як, реклама та виставки найбільш активно використовуються в момент входу на ринок. Для товарів споживчого та щоденного попиту реклама необхідна на стадії росту і насичення. У період спаду маркетингологи менше використовують рекламу в якості просування, вони починають стимулювати збут і приділяють увагу особистому продажу.

Список літератури: 1. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / *Жан-Ноэль Капферер* ; [пер. с англ. *Е. В. Виноградовой* ; под общ. ред. *В. Н. Домнина*]. – М. : Вершина, 2007. – 448 с. 2. *Келлер К. Л.* Стратегический бренд-менеджмент : создание, оценка и управление марочным капиталом / *К. Л. Келлер*. – [2-е изд.]. : [пер. с англ.]. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 704 с. 3. *Котлер Ф.* Маркетинговый менеджмент : навч. посіб. / *Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко та ін.* : К. : Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с.

УДК 658.589

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Ткачук І. І., канд. екон. наук

(Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, Харків, Україна)

Розглянуті основні проблеми інформаційного забезпечення інноваційного розвитку підприємства, окреслені його складові для ефективного використання інформаційних ресурсів.

Ключові слова: *інформаційне забезпечення, інформація, інноваційна діяльність, інноваційний розвиток, інформаційні ресурси.*

Рассмотрены основные проблемы информационного обеспечения инновационного развития предприятия, указаны его составляющие для эффективного использования информационных ресурсов.

Ключевые слова: *информационное обеспечение, информация, инновационная деятельность, инновационное развитие, информационные ресурсы.*

The basic problem of information support of innovative development company outlined its components for the effective use of information resources.

Keywords: *information security, information, innovation, innovative development, information resources.*

Інноваційна діяльність практично будь-якого підприємства неможлива без організації її ефективного інформаційного забезпечення, яке, в свою чергу, є складним і дуже важливим процесом, оскільки сприяє більш чіткій поведінці підприємства на ринку товарів і послуг. В даний час досить актуальним для більшості вітчизняних підприємств є питання підвищення якості інформаційних потоків, а також вдосконалення інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень при розробці і виведенні інноваційних товарів на ринок. Як показала практика, в більшості сучасних організацій відсутній комплексний підхід до побудови системи інформаційного забезпечення, а саме вибір методів збору, обробки та аналізу інформації. Загалом створення системи інформаційного забезпечення діяльності інноваційних підприємств можна вважати одним з найважливіших напрямків підвищення їх конкурентоспроможності на ринку.

Виходячи з понять, пов'язаних з інноваційною діяльністю, стає ясно, що розробникам інновацій необхідно отримання актуальної та своєчасної інформації для прийняття важливих рішень і забезпечення правового коригування діяльності. Так процес інноваційного циклу поділяють на наступні етапи: виникнення ідеї; фундаментальні дослідження; прикладні дослідження; розробка

промислових зразків; комерціалізація продукту; серійне виробництво і реалізація інноваційної продукції [1]. Кожен з перерахованих вище етапів вимагає певного набору інформації: науково-технічної (містить документи і звітності інших процесів пошуків в даній предметній або суміжних предметних областях), патентної, комерційної, маркетингової, статистичної та демографічної, правової, інформації про конкурентів, інформації про потенційних споживачів [2].

Основу інформаційних ресурсів у сфері науки і техніки складають:

первинні документи або першоджерела - документи, що містять результати досліджень, розробок, спостережень, аналізу та інших видів наукової та виробничої діяльності: журнали, книги, праці конференцій тощо;

вторинні документи, або вторинні джерела - документи, які є результатом аналітико-синтетичної переробки змісту первинних документів: бібліографічні покажчики, реферативні журнали, експрес-інформація, сигнальна інформація, оглядова інформація тощо.

Як показує практика розвитку системи наукової комунікації, основним видом інформації, який використовується при проведенні наукових дослідженнях, продовжує залишатися технічна література, яка служить головним засобом передачі (поширення) і головним джерелом одержання інформації для науковців і фахівців.

З розвитком інформаційних технологій більша кількість інформації надходить на ринок не в друкованій, а в електронній формі (близько 50%). Такими є бази і банки даних, електронні видання електронні бібліотеки, каталоги тощо.

Дослідження існуючих інформаційних ресурсів показують, що вони переважно спрямовані на підтримку наукової і освітньої мети. Як правило, вони можуть нести важливу і потрібну інформацію, але зараз вони не структуровані, інформація не актуальна і не відображає в комплексному вигляді інформацію про державну інноваційну політику, її методи підтримки інноваційної діяльності, про стан програм у інших суб'єктів господарювання різних областей господарювання.

Головний недолік такої інформації є в тому, що навігація по інформаційним ресурсам практично відсутня. Дуже мало і досить розпорошено представлена в мережі аналітична інформація. Таким чином, у складі інформаційного забезпечення інноваційної діяльності та розвитку повинні бути: повний спектр зарубіжних періодичних видань, в тому числі за при-пріоритетним напрямкам і технологіями в фондах бібліотек та провідних інформаційних центрів; інтегрована і загальнодоступна інформація про стан наукової та інноваційної діяльності в Україні, регіонах, галузях, про виконання робіт і досягнення цілей за пріоритетними напрямками розвитку науки, технологій і найважливішим інноваційним проектам; бази даних за проектами та партнерами, в тому числі за можливими інвесторами; техніко-економічна та методична інформація, необхідні техніко-економічні нормативи, які повинні допомагати підприємствам малого і середнього бізнесу в їх господарській діяльності; повна інтегрована і систематизована інформація про суб'єкти інноваційної діяльності; інформація про конкурси (в тому числі гранти на наукові дослідження і розробки) і тендери. Доступ до інформаційних ресурсів для учасників інноваційного процесу повинен здійснюватися через єдину точку входу, тобто за допомогою ефективною системи навігації по інноваційним ресурсам.

Список літератури: 1. Антонюк Л. Л. Інновації: теорія, механізм розробки та комерціалізації: Монографія / Л. Л. Антонюк, А. М. Поручник, В. С. Савчук. – К. : КНЕУ, 2010. – 394 с. 2. Яненкова І. Г. Організаційно-управлінські ресурси інноваційного розвитку економіки: методологія та практика: [монографія] / І. Г. Яненкова. – Миколаїв: Вид-ва ЧДУ імені Петра Могили, 2012. – 59 с.

УДК 378.147:330.341.1

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КАДРІВ ДЛЯ МАЛИХ ІННОВАЦІЙНО-ОРІЄНТОВАНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Савченко М. М., викладач

(Міжрегіональна академія управління персоналом, Харків, Україна)

Ефективна робота творчих груп саме малих підприємства потребує збільшення уваги до особистісних якостей персоналу. Удосконалення методів створення і використання досвіду творчих груп може стати необхідною умовою інноваційного розвитку малих підприємств в умовах ринку.

Ключові слова: кваліфікація, мале підприємство, креативність, інноваційний розвиток, творчі групи.

Эффективная работа творческих групп именно малых предприятия требует увеличения внимания к личностным качествам персонала. Совершенствование методов создания и использования опыта творческих групп может стать необходимым условием инновационного развития малых предприятий в условиях рынка.

Ключевые слова: квалификация, малое предприятие, креативность, инновационное развитие, творческие группы.

Efficient work groups is small enterprises require increased attention to the personal qualities of the staff. Improved methods of creating and using the experience of creative groups can be a prerequisite for innovation development of small enterprises in the market.

Keywords: skill, small business, creativity, innovation development, creative group.

Зважаючи на те, що суспільства розвинених країн світу ввійшли в еру шостого технологічного укладу економіки, який базується на нових високих технологіях, і підвищує конкурентоспроможність кожної країни [1-3], в Україні стає нагальною потреба суспільства в подальшому удосконаленні креативних методів при підготовці майбутніх кадрів. Особливо це важливо для інноваційного розвитку малих підприємств.

Малі підприємства в умовах сьогодення розвиваються без чітких орієнтирів стосовно тих товарів та послуг, які б визначали умови стабільного існування підприємств на ринку на протязі якогось певного періоду.

Саме розвиток малих підприємств сприяє покращенню соціальних стандартів життя, зменшенню соціальної напруги і безробіття.

В той же час в Україні в багатьох випадках в діяльності малих підприємств слід ураховувати фактор невизначеності. Через невизначеність, обумовлену економічною позицією держави відносно малих підприємств і лобіюванням інтересів крупного бізнесу, малі підприємства стикаються в умовах ринку з низкою проблем. Найважливіші – ризики матеріального забезпечення, відсутність інвестицій

або перепони до їх залучення, розмитість мотивації і плинність кадрів.

Співробітники малих підприємств, як правило, обмежені у кар'єрному рості через обмежену специфіку діяльності підприємств, але можуть бути зацікавлені у набутті спеціальних знань, підвищенні кваліфікації.

Тому підвищення кваліфікації співробітників малих підприємств, покращення якості їх особистого потенціалу дозволить збільшити ефективність і конкурентоспроможність саме цих підприємств.

Аналіз проведених досліджень робіт провідних вчених і фахівців та цільової політики Державного інституту інтелектуальної власності від законотворчих ініціатив до проведення конференцій, семінарів та тренінгів показав, що розвиток економіки потребує розроблення цілеспрямованої державної політики навчання, перш за все, молоді, яка повинна бути цілісною системою майбутнього використання інтелектуального ресурсу молоді і включати етапи від підготовки освічених кадрів до ефективного їх подальшого використання на робочих місцях відповідного профілю.

Метою дослідження є визначення принципових положень щодо покращення кадрової політики у сфері підготовки кадрів спеціалістів з інноваційної діяльності для малих підприємств, а також фахівців з правової охорони інтелектуальної власності (патентознавців, патентних повірених).

Для забезпечення високого динамізму професійних показників працівників практично всіх соціально-економічних, наукових, освітніх сфер необхідні подальші позитивні зрушення в інноваційному розвитку організацій та установ, що потребує вивчення світового досвіду для подальшого його використання з урахуванням корінних змін в системі взаємодії держави з особистістю. Це передбачає визначення роду і часу його трудової діяльності без встановлення жорсткої матеріальної залежності творчого працівника від ризиків інноваційних впроваджень. Особливо важливим є такі підходи для малих підприємств, де має місце порівняно високий коефіцієнт плинності кадрів, особливо притаманний малим підприємствам. В таких підприємствах великий прошарок малозабезпечених і малокваліфікованих кадрів, що впливає на соціальну стабільність суспільства, великий ризик банкрутства. Також важливо урахувувати низький в порівнянні зі світовими вимогами рівень професіоналізму і компетентності фахівців у сфері захисту прав на інтелектуальну власність, відсутність можливостей надавати кваліфіковані послуги фахівцям підприємств, особливо малим.

Можна вважати доцільним покращити інтелектуальні методи розвинення креативних властивостей кожної особистості, які можуть здійснюватись не лише при колективній формі навчання, а також індивідуальній або заочній. Обов'язково необхідно удосконалити методику проведення семінарів-тренінгів, практичну значимість ролевих ігор, створюючи передумови появи в організації ефективно працюючих груп та колективів для скорочення термінів розробки, насамперед, нових товарів (рисунок). Ефективна робота творчих груп у малих підприємствах потребує особливої уваги при створенні мікроклімату, наявності відповідних особистостей, які виконують наступні ролі: аналітик, генератор ідей, ерудит, критик, розробник [4].

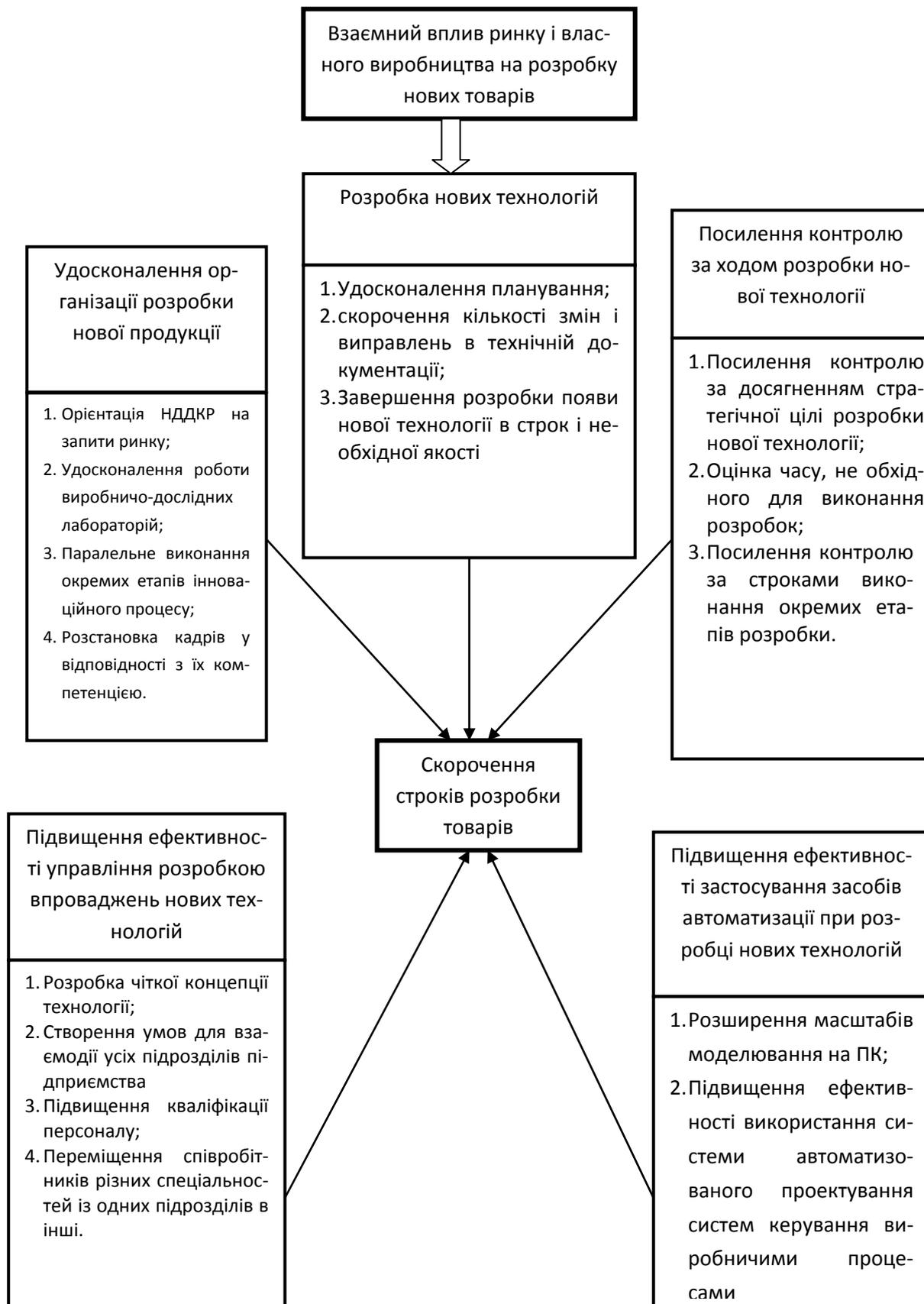


Рисунок – Фактори скорочення термінів розробки нових виробів кваліфікації, до розробки власних інтелектуальних ідей, в ідеалі їх захисту патентами або передачу патентів іншим зацікавленим підприємствам

Саме з таких підходів необхідно керівнику малого підприємства урахувати прагнення співробітників покращувати матеріальну зацікавленість у результатах праці, але створювати мотивацію до підвищення.

Також може бути важливим і залучення до творчого процесу у малому підприємстві на певний період висококваліфікованих фахівців у якості:

- організатора – людина, яка здійснює аналіз ситуації і поставлених завдань, визначає цілі групової роботи, виділяє окремі етапи і формулює завдання окремим виконавцям;

- координатора – людина, яка здійснює аналіз змісту всіх індивідуальних дій і об'єднує їх у загальне ціле (працює в тісному контакті з організатором);

- контролера – людина, яка здійснює нагляд за правильністю реалізації діяльності, особливо за дотриманням послідовності і часу виконання роботи, а також ефективним використанням ресурсів;

- тренера – людина, яка орієнтована на передачу власного досвіду членам творчої групи (студентам, співробітникам та ін.) і здатна забезпечити процес адаптації та активної участі молоді у рольовій грі.

Характерною особливістю при цьому є набування вмінь чітко виявляти проблему у досягненні певної мети як майбутнього ефекту. При цьому до інноваційного розвитку можуть залучатись не лише фахівці підприємств (інженерно-технічний персонал, економісти та ін.), але й фахівці провідних навчальних закладів та учнівська молодь.

Розробка засад кадрової політики в інноваційній сфері потребує урахування основних вимог, які набувають першочергового значення в інформаційному суспільстві, а саме:

- 1) креативність;
- 2) сталість розвитку (єдність і багатокладність);
- 3) реалістичність;
- 4) раціональність;
- 5) духовність, моральність, громадянська позиція;
- 6) демократичність;
- 7) правомірність.

На базі цих вимог мають формуватись у кожній організації такі принципові положення, як системність, взаємоповага і командний стиль для усунення недоліків та покращення стану виробництва нових товарів та послуг, зниження їх собівартості, впровадження прогресивних технологій.

Список літератури: 1. Друкер П.Ф. Задачи менеджмента в 21 веке: Учеб. пособие. / Пер. с англ. и ред. Н.М. Макаровой. – М.: Вильямс, 2001. – 270 с. 2. Фецин Ю.З. Мотивування в системі менеджменту підприємства. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kerivnyk.info/2011/01/feschyn.html>. 3. Ястремська О. М. Створення нової продукції: організаційно-економічний та маркетинговий аспекти. – Харків: ХНЕУ. – 2007. 4. Рубин М.С., Кияев В.И. Основы ТРИЗ и инновации. Применение ТРИЗ в программных и информационных системах: Учеб. пособ. – СПб.: Изд. С-Петербург. ун.-та, 2011. – 287 с.

СКЛАДОВІ ПРОГРАМИ EVENT-МАРКЕТИНГУ

Янковой Р.В., канд. екон. наук, доц.

(Київський інститут бізнесу та технологій, Київ, Україна)

Ашихіна Л.В., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості складових програми event-маркетингу. Наведено основні особливості родієвого маркетингу. Представлено основний маркетинговий інструментарій сучасної маркетингової діяльності підприємств.

Ключові слова: event-маркетинг, подієвий маркетинг, маркетингові інструменти, маркетингова діяльність

Рассмотрены особенности составляющих программы event-маркетинга. Приведены основные особенности родиевого маркетинга. Представлены основной маркетинговий инструментарий современной маркетинговой деятельности предприятий.

Ключевые слова: event-маркетинг, событийный маркетинг, маркетинговые инструменты, маркетинговая деятельность

The features of the components of event-marketing programs. The basic features of rhodium marketing. The basic marketing tools of modern marketing activity.

Key words: event-marketing, event marketing, marketing tools, marketing activity

В сучасному суспільстві event-маркетинг стає одним із успішних інструментів побудови маркетингових комунікацій компанії. Заходи, які використовуються, дозволяють ефективно побудувати тісний емоційний зв'язок між брендом і споживачем. В основі системи івентів лежить захід інформаційно-пізнавального, розважального або спортивного характеру, яке використовується певною торговою маркою для просування цінностей бренду. Елементи івент-маркетингу відомі і застосовуються давно, але зараз методи і прийоми управління унікальними подіями почали складатися в окремий науковий напрям.

Більш детальне ознайомлення зі складовими програми event-маркетингу слід почати з інструментів, які для цього використовуються [1]: промо-акції; святкові заходи; церемонії відкриття; презентації; конференції та семінари.

З точки зору подієвого маркетингу, як комплексу спеціальних заходів та акцій, здатних не тільки запам'ятися, але в ряді випадків стати новиною, можливо привести наступну класифікацію [2]: партизанські акції; product placement; ambient media; фестивалі, ярмарки; масові event-заходи, тест-драйви; PR-заходи, іміджеві акції. Спеціальна подія може бути як строго академічною (бізнес-зустріч, наукова конференція) чи діловою (зустрічі на вищому рівні, виставки, турніри, конкурси), так і розважальною (концерти, шоу, фестивалі) чи інформативною (день народження компанії, випуск нового продукту) тощо.

Важливим компонентом у створенні події є визначення її головної цілі. Відповідно, всі заходи, проведені в рамках реалізації event-маркетингу, можна розділити на наступні види по переслідуваним цілям [4]:

1) TRADEEVENTS – заходи для партнерів, клієнтів, дилерів і дистриб'юторів. В цю групу входять конференції, презентації, прийоми, семінари, форуми, конгреси, саміти, pr-акції, спеціальні заходи на виставках-ярмарках.

2) CORPORATE EVENTS (HR EVENTS) – корпоративні заходи (спільний відпочинок співробітників, ювілеї компанії, професійні свята).

3) SPECIALEVENTS – спеціальні заходи (фестивалі, вручення премій, заходи для преси, особливі події і т.д.).

Отже, за представленими даними можна зробити висновок, що на даний час існують різні види заходів. Потрібно відмітити, що кожний розрахований на залучення певного сегмента цільової аудиторії, будь-то галузеві ЗМІ, потенційні бізнес-партнери, дилери, кінцевий споживач. За цією ознакою в комплексі маркетингових заходів можна виділити такі [3]: захід із запуску інформації в пресі (press-launch); захід-презентацію для запрошених гостей (PR-launch); масові заходи з просування бренда або продукції серед кінцевих споживачів, які часто проводяться в готелях, барах, ресторанах, а також у місцях масового гуляння, наприклад на площах міст, парках та інших зонах відпочинку.

Академічна корисність івент-стратегії полягає в тому, що об'єднання технічно схожих заходів у єдиний блок дозволяє більш глибоко і всебічно вивчити технологію їх проведення. Завдяки event-маркетингу досягається довготривалий ефект: подія давно закінчилась, але його результати крокують далеко за його межі, вони позначаються і до події, і багато після його закінчення, і навіть побічно впливають на тих, хто не потрапив в захід, але входить в цільову групу.

Слід зазначити, що заходи, які відбуваються в рамках організованої події, не завжди несуть пряму вигоду. Часто такі заходи високо затратні, тому такі події можна розглядати як інвестиційні проекти. Як і будь-який інвестиційний проект події можуть і не виправдати очікування інвесторів.

Таким чином, event-заходи забезпечують потужний потік позитивних емоцій, що переміщуються на товар і формують у споживача лояльність до нього. Застосування ж в event-події різних видів і інструментів просування дозволяє розширити спектр впливу на цільову групу споживачів.

Можна з упевненістю говорити що подієвий маркетинг – це інструмент, який дозволяє впливати на самі різні сегменти, часто одночасно. Більш того, цей вид маркетингу не обмежений короткостроковим ефектом, а віддача від нього буде значно більш тривалою. Але event-маркетинг може бути як успішним, так і провальним. Точно визначити успішність майбутнього заходу складно, а часом і неможливо. У зв'язку з цим слід приділяти увагу всім аспектам сприйняття події споживачем і тримати під контролем їх узгодженість, яка забезпечить переваги в порівнянні з традиційними рекламними інструментами.

Список літератури: 1. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / *Жан-Ноэль Капферер*; [пер. с англ. *Е. В. Виноградовой* ; под общ. ред. *В. Н. Домнина*]. – М.: Вершина, 2007. – 448 с. 2. *Маркетинговый менеджмент: навч. посіб. / Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко та ін.*: – К.: Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с. 3. *Романцов А. Н.* EVENT-маркетинг. Сущность и особенности организации // *А. Романцов* / *Практ. пособие.* – М.: Дашков и К, 2009. – 116 с. 4. *Ячменникова Е. А.* Событийный маркетинг или Как делать event // *Е.А. Ячменникова*/ *Маркетинговые коммуникации.* – 2010. – № 4. – С. 224–232.

ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ ЯК СКЛАДОВА ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ: СУТНІСТЬ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ

Притиченко Т.І., канд. екон. наук, доц.

Калюжна К.О., студентка 3 курсу, **Гук. І.М.**, студентка 3 курсу
(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розкрито сутність інтернет-маркетингу, його переваги та недоліки, сучасний стан та перспективи розвитку в Україні.

Ключові слова: інтернет-маркетинг, електронна комерція, комунікації, оффлайн-покупки, онлайн-продажі.

Раскрыта сущность интернет-маркетинга, его преимущества и недостатки, современное состояние и перспективы развития в Украине.

Ключевые слова: интернет-маркетинг, электронная коммерция, коммуникации, онлайн-покупки, оффлайн-продажи.

The essence of Internet marketing, its advantages and disadvantages, the current state and prospects of development in Ukraine.

Keywords: Internet marketing, e-Commerce, communications, online-purchases, offline-sales.

У сучасних умовах господарювання кожна крупна компанія, торгова фірма чи виробниче підприємство мають Інтернет сторінку (сайт). Це пов'язано з постійним збільшенням числа користувачів Інтернету на 25-30%, тобто велика кількість потенційних клієнтів і перспективних партнерів може отримати необхідну інформацію про компанію, товар, його якість, цінах не виходячи з дому чи не покидаючи робочого місця [1].

На сьогоднішній день актуальність інтернет-маркетингу для підприємців полягає в можливості отримання хорошого вхідного потоку клієнтів з мінімальними вкладками також в тому, що при якісному використанні інструментів інтернет-маркетингу можна постійно залишатися на зв'язку з клієнтом, аналізувати поведінку і вміло реагувати на будь-які зміни в потребах клієнтів, а також здійснювати онлайн-продажу.

Останнім часом багато користувачів частіше вибирають предмети побуту, техніку, одяг, меблі і ексклюзивні предмети інтер'єру, продукти харчування і товари для дітей через інтернет, це набагато зручніше в плані порівняння цін і вивчення споживчих характеристик, чим здійснення оффлайн-покупок. При цьому вартість купленого товару буває на 10-12% нижче, ніж в звичайному торгово-виставковому залі чи магазині [2].

Саме з цієї причини інтернет-маркетинг сьогодні отримав посправжньому могутній розвиток і має величезний попит на ринку послуг.

Питання інтернет-маркетингу є предметом наукових досліджень багатьох іноземних та вітчизняних авторів, серед яких важливе місце посідають дослідження Котлера Ф., Уілсона Р., Хенсона У., Хартмана А., Еванса Дж., Холмо-

горова, Успенського І., Ф. Віріна, Петрика О.А., Литовченка І., Бойчука І., Івіна Л., Кукліна, Окландера М.А., Павленко А.Ф. та ін. У них, зокрема, досліджено особливості застосування, тенденції розвитку електронної комерції, віртуальне мікро- та макросередовище, питання формування та специфіки маркетингу в Інтернет-просторі, розглянуто й розкрито сутність інтернет-маркетингу, його основні інструменти, проблеми та тенденції застосування в електронному бізнесі та ін.

Метою статті є дослідження категорії інтернет-маркетингу, його особливостей, сучасного стану і перспектив розвитку інтернет-маркетингу в Україні. Поява та розвиток інтернет-маркетингу тісно переплітається із виникненням та розвитком електронної комерції в бізнесі. Інтернет-маркетинг є складовою електронної комерції.

Електронна комерція як новий вид бізнесу виникла наприкінці ХХ ст. і в останні роки в розвинених країнах остаточно набула рис усталеного і стабільно бізнесу, що розвивається, з досить чіткими правилами гри для продавців і покупців [2].

Базуючись на різноманітних підходах до трактування поняття «інтернет-маркетинг» рекомендується наступне його визначення: це вид діяльності, пов'язаний з новітніми технологіями та розробками в області електронної комерції і спрямований на задоволення потреб споживачів та отримання максимального прибутку шляхом обміну через мережу Інтернет з використанням специфічного інструментарію.

Основними інструментами інтернет-маркетингу є: SEO-оптимізація (просування в пошукових системах); e-mail-разсилка; реклама в соціальних мережах; контекстна реклама; банерна реклама; арбітраж трафіку.

Основна мета використання інструментів інтернет-маркетингу, це залучення покупця на свій веб-сервер-ресурс (сайт або блог), який виступає, як рекламний майданчик по просуванню товарів і послуг на ринку.

У порівнянні з маркетингом, заснованим на традиційних технологіях, інтернет-маркетинг має свої переваги та недоліки (табл. 1).

Таким чином, дані табл. 1 свідчать проте, що переваги інтернет-маркетингу значно переважають недоліки.

Це ще раз підкреслює доцільність та ефективність його застосування в сучасних умовах.

Інтернет-маркетинг в Україні набирає обертів мало не з кожним днем. І це аж ніяк не перебільшення. Інтернет-маркетинг в Україні, як і в усьому світі, освоює соціальні мережі: Facebook, Twitter, Вконтакте, Однокласники. Створити групу, лайкнути, зробити репост - ці та багато інших термінів становляться звичними і добре знайомими для бізнесу [3].

За даними дослідження компанії Factum Group Ukraine за перше півріччя 2016 року число підключень до Інтернету в Україні виросло на 7%, а приріст користувачів в процентному вираженні склав 4% - з 58% до 62%. У великих містах України показник проникнення Інтернету наблизився до середньоєвропейських значень [4].

Переваги та недоліки інтернет-маркетингу

Переваги	Недоліки
Висока якість контакту. «Індекс уваги» в інтернеті складає 40%, в пресі – 10-15%, а на телебаченні – 5-8%.	Віртуальність товару, що не дозволяє покупцеві доторкнутись до товару власними руками та перевірити його
Значний обхват цільової аудиторії	Низька безпека при використанні інтернет ресурсів; вірогідність злому платіжних систем або розголошення персональних даних
Висока результативність в зрівнянні з традиційною рекламою, відносно невисока вартість реклами в Інтернеті	Велика конкуренція серед компаній і запекла боротьба за перші місця в пошукових системах, а також великий об'єм інформації, який надається споживачам
Розгорнений опис товарів і послуг компанії	Етичні проблеми (є люди, які незадоволені, тим, що інформація і дані про них запам'ятовуються)
Можливість придбати продукцію, не відходячи від комп'ютера за допомогою замовлення в інтернет-магазині	Величезні розміри Інтернету, буває досить не просто відшукати корисну інформацію
Інтерактивність	
Наявність ефективного зворотного зв'язку між споживачами і компанією	
Особистий психологічний комфорт (Інтернет дозволяє отримати свою власну думку про рекламований продукт, не використовуючи психологічний тиск з боку продавця).	
Гнучкіша маркетингова компанія; її легко змінювати по ходу виконання без додаткових вкладень.	

Як свідчать дані досліджень компанії TNS Ukraine, в ТОП 5 щоденних занять в Інтернеті входять: пошук інформації (43 %), соціальні мережі (31 %), пошта (25 %), перегляд відео (24 %) та прослухування музики (23 %) [8].

Інтернет як канал маркетингових комунікацій є частиною так званих «нових ЗМІ». У зв'язку зі специфікою Інтернету як «нового ЗМІ», виникають істотні відмінності в системі маркетингових комунікацій (СМК) в мережі Інтернет й традиційної СМК, що застосовується в «офлайнній реальності». При використанні «традиційних» каналів комунікацій зацікавлені організації надають споживачам ту інформацію, що, на їхню думку, їм необхідна. У випадку ж використання Інтернет ситуація кардинально міняється: тут споживачі самі шукають ту інформацію, що їх цікавить.

Переваги такого підходу для споживачів очевидні: їм немає необхідності сприймати всі маркетингові повідомлення підряд. До компаній же, що діють на Інтернет-ринку, пред'являються підвищені вимоги, тобто зростає соціальна відповідальність організацій.

Інтерактивність є одним з основних переваг Інтернет перед «традиційними» засобами комунікації. Дана перевага заснована на можливості в гранично стислий термін (порядку декількох хвилин або навіть секунд) одержувати й обробляти інформацію та відповідати споживачам на їхні запити.

Таким чином, установлюється оперативний двонаправлений діалог компанії зі споживачем.

Інтернет надає безліч інструментів для впливу на цільову аудиторію рекламодавця: розміщення реклами на тематичних і загально інформаційних сайтах, банерні мережі, e-mail-маркетинг, просування за допомогою пошукових систем і каталогів, обмін посиланнями, рейтинги, партнерські й спонсорські програми й ін. [5].

Змінюється і ментальність населення. У цільовій аудиторії 12-24 роки Інтернет вже обігнав телебачення по декларативному контакту (73% в кінці 2015 року), проте зростання обхватів в цій цільовій аудиторії дещо сповільнилося. Найбільш інтенсивне зростання обхвату зараз демонструють старші вікові групи [8].

Помітне зростання онлайн-ринку на фоні падіння традиційної оффлайн-торгівлі привело до того, що ритейлери стали активно працювати над освоєнням інтернет-продажів.

У мережу Інтернет, де традиційно досягли успіху продавці електроніки та мобільної техніки, кинулися продавці одягу, продуктів харчування та інших товарів першої необхідності [7].

Як свідчать наведені дані, інтернет-маркетинг з кожним днем швидким кроком входить в життя кожного українця і поглинає його у всесвітню павутину інтернет-торгівлі. Вплив інтернет-технологій на маркетингову діяльність підприємства зростає.

Перспективою подальших досліджень по даному напрямку має стати поглиблене вивчення особливостей застосування інтернет-технологій у маркетингу. «Хто не в Інтернеті, той не в тренді», - девіз сьогоднішніх днів. Онлайн-торгівля, безготівкові платежі в інтернет і "мобільна" революція - три світові тенденції, які вже прийшли в Україну.

У зв'язку із стрімким розвитком науково-технічного прогресу інтернет-маркетинг набуває не лише актуальності, але й поступово перетворюється на основний вид комунікації зі споживачами багатьох господарюючих суб'єктів різних галузей та сфер національної економіки.

Список літератури: 1. Актуальность использования интернет-маркетинга [Електронний ресурс] // Internet Blogg. – Режим доступу: <http://www.bllo.net/2014/11/aktualnost-ispolzovaniya-internet-marketinga.html>. 2. Семенова А.В. Інтернет-маркетинг в Україні: передумови виникнення, особливості становлення, перспективи розвитку [Електронний ресурс] // Outdoor. – Режим доступу: <http://economy.kpi.ua/ru/node/537> 3. AdLabs-Украина [Електронний ресурс] // AdLabs. – Режим доступу : <http://adlabs.com.ua/reklama-v-internete/internet-marketing/> 4. Trade Master Group от профессионализма к мастерству [Електронний ресурс] // Trade Master Group. – Режим доступу: <http://trademaster.ua/articles/1623> 5. Примак Т. О. Маркетингові комунікації: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. – К.: Ельга: Ніка – центр, 2003. – 280 с. 6. Электронное периодическое издание All Retail [Електронний ресурс] // All Retail. – Режим доступу: <http://allretail.ua/topics/45351/> 7. E-pepper.ru – информационный онлайн-ресурс [Електронний ресурс] // E-pepper. – Режим доступу: www.e-pepper.ru 8. Шахдинарян А. Как меняется аудитория медиа –[Електронний ресурс] // Media Business. - Режим доступу: <http://www.mediabusiness.com.ua/content/view/47198/48/lang.ru/>

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Птащенко О.В., канд. екон. наук, доц., **Байрамалієва М.А.**, студентка 4 курсу
(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості інформаційних технологій в діяльності підприємства. Наведено основні особливості використання інформаційних технологій в управлінні підприємством.

Ключові слова: інтернет-маркетинг, інформаційні технології, маркетингові інструменти, маркетингова інформація.

Рассмотрены особенности информационных технологий в деятельности предприятия. Приведены основные особенности использования информационных технологий в управлении предприятием.

Ключевые слова: интернет-маркетинг, информационные технологии, маркетинговые инструменты, маркетинговая информация.

Features of information technology in the enterprise. The basic features of the use of information technology in business management.

Key words: internet marketing, information technology, marketing tools, marketing information.

Удосконалення інформаційної техніки та технологій, розширення сфер застосування їх, індустріалізація виробництва інформаційних продуктів та послуг спричинили бурхливий розвиток інформаційного ринку. Процеси концентрації інформаційних ресурсів у комерційних автоматизованих системах, приватизація державних джерел інформації особливо яскраво проявляються у високорозвинених країнах.

Комерційні засади інформаційного обслуговування вимагають від керівників інформаційних служб розроблення певної ринкової стратегії. Тому закономірним наслідком поширення інформаційного бізнесу стало виокремлення із загальної концепції маркетингу товарів масового попиту та товарів виробничого призначення самостійного напрямку - маркетингу інформаційних продуктів і послуг.

Інформаційні технології (ІТ), або технології обробки інформації у спрощеному розумінні, – це сукупність певних складових компонентів (технологічних елементів), таких як методи і пристрої. Їх основне призначення в урбаністичному суспільстві полягає в обробці та аналізі даних. З цього можна зробити висновок, що автоматизовані інформаційні технології маркетингу – це єдиний комплекс методів, засобів і форм автоматизації маркетингової діяльності [1].

Розвиток інформаційних технологій, серед яких одне із провідних місць посів інтернет, поява і стрімкий ріст електронної комерції стали основою для утворення нового напрямку в сучасній концепції маркетингу взаємодії – інтер-

нет-маркетингу. Під цим терміном розуміється теорія і методологія організації маркетингу в гіпермедійному середовищі інтернету.

Глобальна мережа наділена унікальними характеристиками, які суттєво відрізняються від характеристик традиційних інструментів маркетингу. Однією з основних властивостей інтернет-середовища є її гіпермедійна природа, яка характеризується високою ефективністю в представленні і засвоєнні інформації, що значно підвищує можливості маркетингу в посиленні взаємозв'язку підприємства і споживачів [2].

Крім того, роль, яку виконує глобальна мережа, не обмежується лише комунікативними функціями, а також охоплює можливість укладання угод, здійснення покупок і проведення платежів, надаючи їй вигляду глобального електронного ринку.

Задля ефективного використання маркетингових даних необхідно сформувати інформаційні системи маркетингу, які невід'ємно пов'язані з сучасною концепцією маркетингу.

За останні роки було створено велику кількість інтегрованих ІС, на всіх етапах виробництва і збуту товарів широко впроваджується комп'ютерна техніка. Такі інформаційні системи забезпечують узгоджене управління даними в межах кожної організації, координування роботи її підрозділів, автоматизацію операцій з обміну інформацією, зокрема і в межах декількох підприємств чи груп користувачів [1, 3-4].

Варто зазначити, що саме у сфері інтернет-маркетингу інформаційні технології та ІСМ розвиваються стрімкими темпами. Згідно із сучасним трактуванням, маркетинг в інтернеті це один з різновидів онлайнового маркетингу, який охоплює використання ресурсів інтернет в цілях реклами, стимулювання збуту, проведення маркетингових досліджень, продажу товарів через інтернет. Як тільки з'являється нова технологія, її одразу ж впроваджують у рекламу. Цифрова реклама на біл-бордах надає широкі креативні можливості, пов'язанні із застосуванням відео та анімації. Цифрові інсталяції, освоєння яких почалось після експериментів сучасного мистецтва, тепер з'являються в аеропортах, на вокзалах і в торгових центрах, пропонуючи ще один несподіваний спосіб досягнення фрагментованої аудиторії. Завдяки популярності смартфонів з великими екранами та їх високій роздільній здатності важливе місце в інтегрованих кампаніях посідає мобільний маркетинг.

Список літератури: 1. *Котлер Ф.* Маркетинговий менеджмент : навч. посіб. / *Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко* та ін. – К. : Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с. 2. *Птащенко О. В.* Інтернет-маркетинг в системі управління збутом підприємства // *О. В. Птащенко / Управління розвитком.* – Харків, ХНЕУ, 2013. – №2 (142). – С. 81-83. 3. *Птащенко О. В.* Інтернет-маркетинг як один з елементів збутової політики підприємства // *О. В. Птащенко / Актуальні питання сучасної економіки: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (28-29 вересня) 2012 року.* – Одеса: ГО «Центр економічних досліджень та розвитку», 2012. – С. 29-32. 4. *Птащенко О. В.* Підвищенні ефективності збутової політики підприємства через використання Інтернет-маркетингу // *О. В. Птащенко / Кримський економічний вісник, науковий журнал.* – Вид.: ТОВ «Видавничий дім «Гельветика». – Сімферополь, 2013. – 2 (03) квітень 2013. Частина II – С. 113-117.

ТОВАРНА ПОЛІТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ЇЇ МАРКЕТИНГОВА СКЛАДОВА

Чікірісов Д.В., аспірант

(Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна)

Ташлієв М.Ч., студент 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості товарної політики підприємства. Наведено основні складові товарної політики. Представлено основний маркетинговий інструментарій товарної політики.

Ключові слова: *товар, товарна політика, маркетингові інструменти.*

Рассмотрены особенности товарной политики предприятия. Приведены основные составляющие товарной политики. Представлены основной маркетинговый инструментарий товарной политики.

Ключевые слова: *товар, товарная политика, маркетинговые инструменты.*

The features of commercial policy of the company. The basic components of commercial policy. The basic marketing tool of commercial policy.

Key words: *product, product policy, marketing instruments.*

Розвиток ринкових відносин та підприємництва дав поштовх для створення багатьох концепцій, включаючи маркетингові. Товарна політика як окрема сфера організації діяльності фірми з використанням додаткових методів просування, ціноутворення та комунікації розширюється до маркетингової товарної політики. Ф. Котлер у своїй книзі “Маркетинг менеджмент” визначає маркетинг як “соціальний процес, спрямований на задоволення потреб індивідів і груп шляхом створення і пропозиції товарів і послуг та обміну ними з іншими людьми” [3]. В рамках цього визначення, основна мета маркетингу співвідноситься з бізнес-середовищем та бізнес-процесами, які в цілому визначають роботу сучасних організацій. Тому маркетинг існує скрізь, де системно вирішуються завдання з виробництва та розповсюдження продукції чи послуг.

В рамках вирішення маркетингових завдань згідно маркетинговому підходу зачіпаються абсолютно всі аспекти роботи організації. Так, наприклад, одне з основних завдань фахівців у галузі маркетингу - це не просто організувати, наприклад, збут тієї чи іншої продукції, а й скоординувати маркетингові завдання із завданнями та можливостями організації в цілому.

Маркетинг не може існувати як ізольована функція в організаціях, а є основою, навколо якої будується організаційна робота. Саме тому в сучасній практиці маркетинг аналізується і впроваджується як маркетинг менеджмент, а саме з позиції технологій управління різними напрямками роботи організацій, які пов'язані з побудовою системи збуту своїх товарів або послуг. Більше того, необхідно відзначити, що останнім часом різні типи завдань, для вирішення яких потрібні навички та інструментарій маркетингологів, з форми безперервного співпраці різних департаментів, відділів та інше перейшли швидше в проектну

форму спільної роботи. Виділяються різні за своїми властивостями і характеристиками групи організаційних завдань, які вирішуються представниками всіх функціональних підрозділів організації [1].

Концепцію маркетингу, яка розглядає його як поєднання різних інструментів називають комплекс маркетингу або маркетинг-мікс.

Комплекс маркетингу (marketing-mix) – це набір змінних факторів маркетингу, сукупність яких фірма використовує в прагненні викликати бажану відповідну реакцію з боку цільового ринку. Функція комплексу маркетингу полягає в тому, щоб сформуванати набір, який не тільки би задовольняв потреби потенційних клієнтів у рамках цільових ринків, а й максимізував ефективність організації [3].

Найбільш успішною (за ознакою поширеності в умах маркетологів та науковців) з "розширених" трактувань комплексу маркетингу зараз можна назвати концепцію "7P", в якій до "4P" додаються ще 3 [3]:

люди (People) – контингент, який має відношення до процесу купівлі-продажу;

процес купівлі (Process) – те, що пов'язано з діяльністю покупця щодо здійснення вибору товару;

фізичний атрибут (Physical Evidence) – матеріальний предмет, який може служити для клієнта підтвердженням факту надання послуги.

Ця концепція спочатку створювалася для маркетингу послуг, проте зараз все більше дослідників намагаються застосовувати її і до "товарного" маркетингу.

Введення нових елементів в комплекс маркетингу зазвичай обґрунтовується критикою канонічної формули "4P". В основному концепцію "4P" критикують за те, що вона орієнтована на мікрорівень і стосується лише продавця. При цьому для розширення списку "P" зазвичай використовуються: упаковка (Package); купівля (Purchase) - являє собою не тільки передумови до здійснення покупки, але також і наслідки прийняття такого рішення; персонал (Personnel); навколишня середа (Physical premises / surround) - умови, створювані продавцем з метою більш ефективної реалізації свого товару; прибуток (Profit) - капітал, отриманий у вигляді доходу щодо вкладених коштів; зв'язки з громадськістю (PR, Publicity) - створює позитивну репутацію продукту та організації в цілому.

Наприклад, такі елементи, як "Package", "Physical Evidence", "Profit" і "Public relations" є складовими частинами, піделементи комплексу маркетингу. Перші два є піделементи "Product", третій - частиною "Price", а четвертий - частиною "Promotion" [1].

Елемент "People" – це елемент зовнішнього середовища, який не можуть контролювати маркетологи. Саме на споживачів спрямований комплекс маркетингу. Через цінову політику, якість продукції, зручне географічне розташування, а так само за допомогою інструментів реклами та PR, компанія впливає на своїх споживачів. Тому споживачів як елемент комплексу маркетингу розглядати не можна. Потрібно розглядати їх як об'єкт, на який спрямований комплекс маркетингу. До того ж якщо бізнес компанії є "B2B", то словом "People" цей елемент охарактеризувати було б не зовсім коректно.

Елемент “Personal” входить в якості кадрової складової в усі чотири елементи комплексу маркетингу. Крім того, персоналом неможливо маніпулювати так, як асортиментом товару та його ціною.

Тому ж умовою можливості прямого управління не задовольняють елементи “Purchase”, “Process” і “Physical Premises / Surround”.

Таким чином, у загальному значенні концепція часто розуміється як система поглядів, спосіб представлення тих або інших явищ у процесі організації й здійснення якої-небудь діяльності. Нерідко концепція розглядається як система основних ідей, загальний задум, ідеологія організації діяльності підприємства або окремого підприємця, інтегрована цільова філософія господарювання, склад мислення підприємця, спрямованість його дій. У цьому контексті концепція маркетингу являє собою науково обґрунтований задум (проект) організації діяльності взагалі й/або маркетингової діяльності зокрема, який ґрунтується на конкретній керівній ідеї, ефективній стратегії, необхідному оперативному інструментарії здійснення підприємництва з метою досягнення результатів, обумовлених стратегічним планом підприємства.

Список літератури: 1. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / *Жан-Ноэль Капферер* ; [пер. с англ. *Е. В. Виноградовой* ; под общ. ред. *В. Н. Домнина*]. – М.: Вершина, 2007. – 448 с. 2. *Келлер К.Л.* Стратегический бренд-менеджмент: создание, оценка и управление марочным капиталом / *К.Л. Келлер*. – [2-е изд.]: [пер. с англ.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 704 с. 3. *Котлер Ф.* Маркетинговый менеджмент : навч. посіб. / *Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко та ін.* – К.: Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с.

УДК 621.774

ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ БЮДЖЕТУ ЗОВНІШНЬОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСУ ПІДПРИЄМСТВА

Литвиненко А.В., канд. екон. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто переваги та недоліки основних підходів оцінки вартості зовнішньої оптимізації.

Ключові слова: *пошукова оптимізація, витрати на просування, методи оцінки вартості*

Рассмотрены преимущества и недостатки основных подходов оценки стоимости внешней оптимизации.

Ключевые слова: *поисковая оптимизация, затраты на продвижение, методы оценки стоимости*

The advantages and disadvantages of the main approaches to valuation of foreign optimization.

Keywords: *search engine optimization, promotion costs, methods of valuation*

На сьогоднішній день з метою підвищення ефективності праці фахівців з пошукової оптимізації пропонується безліч інструментів - від окремих скриптів, що вирішують якусь певну задачу, до багатофункціональних програмних систем, спрямованих на комплексну реалізацію стратегії пошукової оптимізації.

Як правило, для пошукової оптимізації пропонуються інструменти, призначені для вирішення специфічних завдань, серед яких найчастіше використовуються: аналіз тексту сторінки, складання текстів посилань, визначення позицій і ін.

При цьому, існує дуже мала кількість публічно доступних продуктів, що дозволяють автоматизувати процес оцінки вартості бюджету на пошукове просування сайту підприємства. Основною складністю при цьому вважається неможливість адекватно оцінити вартість виведення пошукових запитів до ТОПу пошукових систем. Підґрунтя цієї складності формує ціла низка проблем, зокрема: визначення вартості самих робіт з пошукової оптимізації; визначення вартості посилання на заданому сайті. На вартість посилання з певного сайту впливає велика кількість чинників, автоматичний облік яких не завжди можливий; визначення та отримання списку працюючих посилань для заданої пошукової системи з метою його подальшого опрацювання, аналізу та покращення. Жодна пошукова система Рунету не має повноцінно працюючих операторів для отримання списку зворотних посилань на сайт.

Таким чином, визначити точну величину бюджету зовнішньої оптимізації сайту підприємства не можливо, але при цьому залишається можливість його приблизної оцінки. В оцінці вартості просування сайту найбільш складним і неоднозначним етапом є оцінка бюджету зовнішньої оптимізації. Саме в задачі визначення (оцінки) бюджету зовнішньої оптимізації і виникає ціла безліч невизначеностей. При його оцінці застосовуються такі методи: прямий аналіз зворотних посилань; аналіз статистики пошукових систем; експертна оцінка бюджету зовнішньої оптимізації; просування без оцінки бюджету зовнішньої оптимізації; просування сайтів без покупки посилань.

Оцінка бюджету зовнішньої оптимізації сайту підприємства на основі аналізу зворотних посилань полягає в отриманні списку зворотних посилань за даними тієї чи іншої пошукової системи, розрахунку вартості кожної з них і подальшому розрахунку підсумкової суми на релевантну масу посилань.

До переваг методу відносяться: можливість автоматизації розрахунку; висока точність оцінки; можливість додаткового аналізу зворотних посилань. Наприклад, вивчення стратегії просування сайтів-конкурентів. Однак він не позбавлений недоліків і має проблеми в реалізації, серед яких: проблема отримання актуального списку зворотних посилань. З урахуванням того, що в російському сегменті Інтернету 60% пошукового трафіку припадає на Яндекс, даної проблеми до недавніх пір не існувало (до закриття оператора «link» пошуковою системою Яндекс). У даний час жодна російська пошукова система не показує повний список актуальних зворотних посилань на заданий сайт, а західні пошукові системи [1] часто видають або застарілі дані, або обмежений обсяг інформації; похибка оцінки вартості посилань, пов'язана з тим, що ціна посилання визначається за такими формальним параметрам, що посилання (сайту), як ПФ, тІЦ Яндекса і т. п.

Отримані за такої оцінки величини іноді відрізняються від ринкових цін на посилання. Пов'язано це з тим, що формули розрахунку вартості посилань засновані на апроксимації середньоринкових цін за певний період і не враховують попит, пропозицію та спекулятивний характер ринку; високе споживання

трафіку і низька швидкість роботи, пов'язані з тим, що для кожного посилання потрібно визначати її текст («анкор»). Текст посилання визначається за рахунок скачування HTML-коду сторінки, що посилається, і т.і.

Описаний метод є універсальним і може застосовуватися як для отримання найбільш повних даних, так і для перевірки і уточнення наявних експертних даних, а саме: для максимально точної оцінки бюджету зовнішньої оптимізації в практично будь-якій тематику; для вивчення стратегії просування сайтів-конкурентів (тексти посилань, тип і кількість сторінок, що посилаються і т. і).

Оцінка бюджету зовнішньої оптимізації за статистикою пошукових систем полягає в оцінці його бюджету на підставі популярності заданих запитів, а також вартості розміщення контекстної реклами за ними (міра конкурентності). Пов'язано це з тим, що: показники конкурентності в контекстній рекламі і в результатах пошуку однієї і тієї ж пошукової системи за інших рівних умов сильно корелюють один з одним; показники популярності запитів збігаються (оскільки запити здійснюються однією і тією ж аудиторією).

Так, наприклад, існує формула оцінки бюджету зовнішньої оптимізації для певного запиту наступного вигляду (формула 1):

$$g = N \cdot P \cdot K_T \cdot K_r \cdot K_C \cdot K_S \quad (1)$$

N - кількість запитів на місяць за даними статистики певної пошукової системи; P - вартість кліка в системі контекстної реклами для входу в гарантовані покази; K_T - коефіцієнт «клікабельності» в першій десятці результатів пошукової видачі (як правило, становить 0,5); K_r - коефіцієнт регіональної приналежності за переходами в першій десятці результатів пошукової видачі (наприклад, 0,7); K_C - коефіцієнт сезонності запиту (за замовченням для тематики без сезонної залежності значення складе 1); K_S - коефіцієнт знижки (вартість послуг SEO нижче вартості розміщення контекстної реклами), як правило, значення 0,3.

Метод має ряд переваг: низьке споживання трафіку, відсутність особливих вимог до інтернет-каналу; висока швидкість.

Але не позбавлений і недоліків і проблем реалізації, серед яких: досить висока ймовірність помилки визначення бюджету зовнішньої оптимізації, як в меншу, так і в більшу сторону. Пов'язано це з різними механізмами визначення показника конкурентності в контекстній рекламі і пошуковому просуванні.

Описаний метод може застосовуватися для приблизної оцінки вартості просування за заданим списком запитів. Окремі спеціалісти вважають, що метод ефективний тільки при оцінці однослівних запитів; в інших випадках контрольний бюджет визначається з великою похибкою. Експертна оцінка бюджету зовнішньої оптимізації – практика свідчить, що для оцінки бюджету зовнішньої оптимізації можна не використовувати додаткові інструменти, здійснюючи його експертну оцінку (на підставі досвіду та інших успішно виконаних проектів).

Переваги методу: не потрібні додаткові інструменти, висока швидкість оцінки бюджету. Але він має основний недолік: низьку точність оцінки. Точність оцінки при використанні даного методу залежить від кваліфікації експерта (від досвіду просування сайтів в заданій тематиці); свідома «націнка за неточність», часто виникає при оцінці конкурентності просування експертом, який має малий досвід в досліджуваній тематиці.

Описаний метод може застосовуватися для приблизної оцінки вартості бюджету зовнішньої оптимізації за заданим списком запитів, у тому випадку якщо експерт має досвід пошукового просування в позначеній тематиці.

Просування сайтів без оцінки бюджету зовнішньої оптимізації має на увазі під собою певні договірні відносини між замовником і виконавцем. За такої схеми роботи, як правило, всі витрати прозорі і зрозумілі для обох сторін і складаються з оплати послуг оптимізатора і суми витрат на контрольний бюджет. Такий метод має свої переваги: відсутня необхідність в оцінці бюджету зовнішньої оптимізації, скорочення бюджету за рахунок відсутності пункту витрат «на запас», можливість збільшення бюджету в разі зростання конкуренції.

Однак є й недоліки, серед яких: невизначеність (у т. ч. для клієнта) в розмірі бюджету проекту на початковому етапі. Варто відмітити, що найчастіше за таких випадків контрольний бюджет все ж таки приблизно оцінюється з використанням одного з методів, описаних раніше; необхідне розуміння клієнтом всієї схеми і етапів просування сайту, оскільки не завжди збільшення бюджету на посилання є виправданим. Кожен з наведених методів має свої «плюси» і «мінуси». Реальна практика показує, що найбільших результатів досягають ті компанії, які в своїй діяльності застосовують їх комплексно.

Список літератури: 1. Консоль вебмастера Google. Електронний ресурс. - Режим доступу: https://www.google.com/webmasters/?hl=ru#?modal_active=none

УДК 658.43

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗРОБКИ МАРОЧНОЇ СТРАТЕГІЇ

Ракосій П.В., аспірант

(Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, Україна)

Поляков В.С., студент 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглянуто особливості розробки марочної стратегії підприємства. Наведено основні особливості використання маркетингового стратегічного інструментарію в управлінні підприємством.

Ключові слова: *інтернет-маркетинг, інформаційні технології, маркетингові інструменти, маркетингова інформація.*

Рассмотрены особенности разработки марочной стратегии предприятия. Приведены основные особенности использования маркетингового стратегического инструментария в управлении предприятием.

Ключевые слова: *интернет-маркетинг, информационные технологии, маркетинговые инструменты, маркетинговая информация.*

The features of the development of branding strategy. The basic features of the strategic use of marketing tools in enterprise management.

Key words: *internet marketing, information technology, marketing tools, marketing information.*

Марочна стратегія – це процес планування та реалізації різних маркетингових заходів, які спрямовані на досягнення поставлених перед компанією цілей. При врахуванні всіх елементів марочна стратегія буде найбільш ефективною.

На жаль, на сучасному ринку склалася кризова ситуація довкола стереотипізованих підходів до рекламування та просування товару. Це спричинило масове ігнорування сучасними споживачами рекламних повідомлень, що призвело до неефективності рекламних кампаній. З великої кількості технологій просування бренду більшість компаній застосовують лише стандартну рекламу, промо-акції, що є одноманітні за характером [1].

На сучасному етапі розвитку маркетингу, постає необхідність застосування методів просування марки, які позитивно вплинуть на важливе відношення «товар-покупець».

Стратегічна підтримка ефективного функціонування існуючої маркетингової політики управління марками спрямовано, перш за все, на встановлення, підтримку і розвиток відносин підприємства з покупцями.

Діагностику задоволеності покупців підприємств доцільно здійснювати на основі матриці «Задоволеність/Значущість», яка дозволяє розподілити фактори задоволеності покупців за двома критеріями: значущість фактору для покупця і задоволеність ним. Задум методу зводиться до розподілу факторів задоволеності покупців підприємств на чотири зони: простір ірраціональної активності, простір раціональної стабільності, простір раціональної досконалості і простір ірраціональної пасивності.

Кожній стратегічній групі, у свою чергу, відповідає певна стратегія [2].

Простір ірраціональної активності характеризується розпиленням уваги підприємства на незначущих для покупців факторах, пропонує відмовитися від підтримки незначущих для покупців факторах і зосередити увагу на інших, більш важливих [2].

Простір раціональної стабільності характеризується оптимальним балансуванням підприємства між значущістю факторів для покупців і намаганням їх задовольнити.

Доцільним є підтримка існуючої позиції, проведення постійного моніторингу задоволеності.

Простір раціональної досконалості припускає постійне вдосконалення маркетингової діяльності підприємства по задоволенню покупців, але не потребує значних змін [2].

Простір ірраціональної пасивності характеризується неприпустимим нехтуванням факторів задоволеності покупців, що є для них найважливішими. Підприємствам доцільно концентрувати маркетингові зусилля на факторах значущості для покупців, що потребує значних та корінних змін [3].

Але головним чином залишається бажання стати ближчим до свого споживача і викликати у нього довіру. Саме на цьому психологічному моменті сьогодні акцентують увагу маркетологи, адже, побудова сприятливих особистих стосунків зі споживачами відкриває бренду успішний шлях в майбутнє.

В сучасних умовах, на початковому етапі розробки марочної стратегії головним є визначення імені марки. В першу чергу, це пов'язано з тим, що ім'я заміщає уявлення про бренд і сам товар у всіх комунікаціях, пов'язаних з маркою. По друге, з ім'ям марки найчастіше контактують споживачі, і, як правило, це найактивніший комунікатор [3]. Інструментом формування імені марки ви-

ступає неймінг - процес створення унікальної назви не тільки виробника, але й самого товару [2].

Це первинна, одна з найбільш важливих і складних комунікаційних завдань забезпечення розробників імені інформацією про необхідні властивості товару.

Мета неймінгу - донести до споживача ціннісні пропозиції товару за допомогою імені [1].

У неймінгу цінність імені є головним фактором, що відрізняє марку компанії від конкурентів. У всіх своїх комунікаціях ім'я компанії або марки товару повинно уособлювати якусь обрану цінність (або цінності), щоб сформувати певний імідж.

З позиції маркетингу, фірми виробляють не товар, а цінності, що відображаються в образі, ідеї, стилі життя через комунікації марки. У назві товару покупець часто шукає асоціації своєї споживчої поведінки, додаткові цінності, ідентифікує свої потреби, запити. Коли такий збіг досягається, покупець здійснює покупку товару.

Цінність вподобаного імені забезпечує мотивацію покупки деякої частини цільової аудиторії.

Виявити кореляцію між ім'ям продукції, сегментом споживача і видом або маркою продукції з позицій маркетингових досліджень складно. Ця область досліджень поки входить в модель « чорного ящика» покупця. Разом з тим можна констатувати, що вдала назва марки здатна залучити й забезпечити зростання продажів [2].

Отже, розробка назв брендів чи марки починається після визначення стратегії бізнесу, мотивів і потреб клієнтів і споживачів, специфіки ринку і категорії. Наприклад, важливо розуміти, які асоціації повинна нести назва і які цінності бренду відображати.

За допомогою різних прийомів словотворення, які використовуються професійними неймерами, можна зробити ім'я веселим і молодіжним, брутальним або жіночним і ніжним; можна сучасним і технологічним.

Важливо також розуміти від якої країни виробника виступатиме товар або послуга - залежно від цього назва може бути чисто українським і писатися кирилицею або мати іноземну основу і писатися на латиниці. У деяких випадках навіть рід назви грає роль. За допомогою назви чоловічого роду, наприклад, легше відобразити ідею серйозності, впевненості, стійкості.

Список літератури: 1. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / *Жан-Ноэль Капферер* ; [пер. с англ. *Е. В. Виноградовой*; под общ. ред. *В.Н. Домнина*]. – М.: Вершина, 2007. – 448 с. 2. *Келлер К.Л.* Стратегический бренд-менеджмент: создание, оценка и управление марочным капиталом / *К. Л. Келлер*. – [2-е изд.]: [пер. с англ.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 704 с. 3. *Маркетинговий менеджмент: навч. посіб. / Ф. Котлер, К.Л. Келлер, А.Ф. Павленко та ін.* – К.: Вид. „Хімджест”, 2008. – 288 с.

СПОСОБИ ОБХОДУ ДЕРЖАВНИХ ОБМЕЖЕНЬ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Голиш Т.І., студентка 4 курсу

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

У статті розглянуто способи обходу державних обмежень маркетингової діяльності алкогольних виробників за допомогою мережі Інтернет та адаптовані способи просування в точках збуту.

Ключові слова: обмеження маркетингової діяльності, маркетинг алкогольної продукції, соціальні мережі, промо-акції

В статье рассмотрены способы обхода государственных ограничений маркетинговой деятельности алкогольных производителей с помощью сети Интернет и адаптированы способы продвижения в точках сбыта.

Ключевые слова: ограничение маркетинговой деятельности, маркетинг алкогольной продукции, социальные сети, промо-акции

The article was considered how to circumvent government restrictions on marketing of alcohol producers via the Internet and adapted methods of promotion at points of sale.

Keywords: restriction marketing activities, marketing of alcoholic beverages, social networks, promotions

В останні роки українське законодавство все більше обмежує можливості просування алкогольної продукції. З 1 липня 2015 року пиво в Україні прирівняли згідно законодавства до алкогольних напоїв. Це означає, що на цей напій поширяться всі обмеження щодо реклами алкоголю: заборона реклами на телебаченні та радіо з 06.00 до 23.00, у більшості друкованих видань, на зовнішніх та внутрішніх носіях тощо [1].

Закон про рекламу алкоголю забороняє стверджувати, що вживання міцних напоїв (мається на увазі вміст спирту більше 5%, а також пиво і пивні напої міцністю від 0,5%) веде до суспільного визнання і досягнення успіху в професійному плані, в спорті, в особистому житті і т. д. Закон про рекламу алкоголю забороняє засуджувати тих, хто не вживає алкоголь і засуджувати сам тверезий спосіб життя. Не можна говорити про те, що алкогольні напої та пиво нешкідливі для здоров'я і тим більше не можна говорити, що вони корисні, наприклад, тому що містять у собі якісь біологічно активні або інші нібито корисні добавки. У рекламі алкогольної продукції не можна говорити про те, що вона втамовує спрагу. Контент рекламного оголошення (ролика, статті) не повинен мати в собі прямого або непрямого звернення до неповнолітніх. Неприпустимо в рекламі алкоголю і пива використовувати людей і тварин, навіть намальованих (анімаційні ролики або анімаційні вставки в ролики).

Де не можна рекламувати алкогольну продукцію: в газетах, журналах та інших періодичних друкованих виданнях (про виключення див. нижче); у дитячих газетах і журналах без винятку; на телебаченні і на радіо (про виключення див. нижче); наружна реклама: рекламні щити, конструкції і банери, а також на

транспортних засобах; у дитячих, медичних, освітніх, культурних, спортивних установах і на відстані до 100 метрів від них; у мережі Інтернет [2].

Відносно Інтернету необхідні деякі пояснення, все-таки це глобальна інформаційна мережа, яка не перебуває у юрисдикції якогось одного держави: заборона, встановлена в російському законі не може поширюватися на всі, що є в Інтернеті.

Закон про рекламу алкоголю дозволяє її за лише в одному єдиному місці: там, де алкоголь продається в роздріб: в магазинах, супермаркетах, гіпермаркетах та інших постійних торгових точках. Дегустаційні промо-акції можна проводити тільки в магазинах, супермаркетах, гіпермаркетах, торговельних центрах. Як промоутерів можна наймати тільки повнолітніх. Проте тут існують обмеження, які також можна обійти (табл. 1).

Таблиця 1

Способи обходу обмежень просування алкогольної в точках збуту

Заборонено	Можливий варіант
Дегустації пива	Виставковий захід у місці продажу з огорожею для доступу осіб, молодших за 18 років
Акції подарунок за покупку (сувеніри, снеки)	Акції зі снеками, продуктами, але комунікаційно-ціна на набір і в чеку ціна за набір (окреме СКЮ, окремий ШК)
Продавати м-паки з брендованим келихом	Продавати м-паки з небрендованим келихом
Робити примоткі снеків	
Давати бали на покупку	
Консультації промоутерами в брендованій формі	Консультації промоутерами в небрендованій формі

Пивоварна компанія «Сан Інбев» в своїй маркетинговій діяльності більше не використовує «реklamний матеріал», замість нього є «інформаційний матеріал». Якщо розглядати більш детально, то «інформаційні матеріали» не містять:

- заклик до покупки;
- акцентування уваги покупця на зниження ціни;
- стимулювання покупки [3].

Припустима тільки інформація про товар. Матеріали, які виробляють та розміщують мережі збуту, до яких існують аналогічні вимоги законодавства - все повинно бути суто інформаційним та не містити заклик до покупки. Проте комунікації можуть містити інформацію про зниження ціни (стара/нова ціна).

Пиво і пивні напої можна рекламувати:

- коли проводяться офіційні змагання (чемпіонати) закон про рекламу пива дозволяє розміщувати банери і розтяжки тільки з назвою пивоварного заводу;
- під час показу на телебаченні чемпіонатів та інших змагань (крім дитячих);
- на спеціальних спортивних телевізійних і радіоканалах. Завжди, коли рекламується алкоголь і пиво, має бути попередження про шкоду цих напоїв. Причому, це попередження має займати не менше 10% площі рекламного носія (банера, монітора і т. д.) [4].

Існують можливості обходу заборони на рекламу алкоголю. Коли говориться про обхід заборон тут ні в якому разі не мається на увазі порушення закону, а лише говориться, що безпосередньо не заборонено законом про рекламу пива і алкоголю.

Є кілька способів, що дозволяють реалізувати рекламну кампанію або кампанію по просуванню продукту, не порушивши при цьому закон. Наприклад, соціальні мережі і блоги. Взагалі, реклама алкогольної продукції в Інтернеті заборонена. Це стосується і соціальних мереж, хоч найпопулярніші з них і не перебувають в юрисдикції українських законів.

Розробники «ВКонтакте» і «Facebook» самостійно прийняли рішення (воно не засновано на тому чи іншому законі, це їхня особиста рішення) заборонити в своїх соціальних мережах рекламувати алкоголь і тютюн [2]. Але рекламу розміщувати в соціальних мережах (це стосується і майданчиків для ведення блогів) можна двома способами: реклама алкоголю в закритих групах та робота з окремими блогерами.

Говорячи про рекламу алкогольної продукції, можна створювати спеціальні групи за інтересами (сигарні клуби, клуби любителів коньяку, віскі, якісь інтелектуальні клуби і т. п.), запрошувати в них людей і поширювати рекламу серед них. Даний вид реклами, звичайно, сильно обмежений з огляду на те, що групи самі по собі мають не нескінченна кількість користувачів соцмереж; а також і тому що група закрита. Але і переваги у цього способу теж є – реклама алкогольної продукції серед точно цільової аудиторії і ефект сарафанного радіо: хоч група і закрита, але про що стоїть продукті члени групи розкажуть своєму оточенню.

Робота з окремими блогерами. Популярного блогера можна попросити протестувати якийсь вид алкогольної продукції або пива і розповісти в своєму блозі (на своїй сторінці в соцмережі) про свої враження. При цьому блогера можна попросити, щоб він зробив чесний звіт, виділивши, що йому сподобалося і не сподобалося в продукті. Це навіть буде краще, ніж якщо блогер буде тільки хвалити те, що пробує: щирість завжди має позитивний ефект. Відгук прочитають всі читачі блогера. Зазвичай, така робота проводиться не з одним, а відразу з декількома блогерами, тим самим розширюється аудиторія, на яку поширюється рекламна інформація. У цьому контексті актуальна організація спеціалізований блог-турів, наприклад, на пивоварний завод. Або спонсорство інших блог-турів. Про це прочитають десятки і сотні тисяч читачів соціальний сеті і блогерських майданчиків.

Реклама алкоголю на вечірках і в звітах про них в глянцевах журналах – дуже ефективний спосіб просування алкогольної продукції і пива. Це – коли виробник (дистриб'ютор) є офіційним постачальником якогось заходу, світської вечірки. Переваги тут два: по-перше, цільова аудиторія потенційних споживачів – це свого роду дегустація преміум класу; а по-друге, в фотозвіти в глянцевах журналах (тираж яких вимірюється тисячами і десятками тисяч) і в соціальних мережах (аудиторія вимірюється сотнями тисяч) потраплять фотографії, на яких зображені потрібні бренди. Головне, щоб ці бренди були на другому і далі планах, в іншому випадку це буде вже пряма заборонена реклама.

Брендування іншої продукції. Реклама алкоголю у такий спосіб більше стосується виробників алкоголю і пива. Вони можуть почати виробляти щось ще, що можна рекламувати, але під впізнаваним алкогольним брендом. Це можуть бути харчові продукти, наприклад, закуска, це може бути мінеральна вода. Ті, хто хоче скористатися цим способом, повинні мати на увазі два дуже важливі моменти: Виробництво іншого продукту – це досить серйозний захід, що вимагає інвестицій, проведення додаткових маркетингових заходів, що в результаті призведе до відволікання коштів з обороту. Тому для початку потрібно буде все ретельні розрахунки. Інакше додаткові витрати перевищать збільшення доходів від продажу основного бренду.

Існують і інші способи обійти заборону по рекламі алкогольної продукції. Наприклад, розсилки по SMS або E-mail або розповсюдження листівок на вулицях. Листівки, до речі, можна виконати у вигляді пляшок і т. д. Це найдешевші і короткострокові способи реклами. Застосовуючи їх, потрібно знати, що робити розсилку і вручати листівки можна тільки за умови згоди людей, і щоб вони були повнолітніми.

Список літератури: 1. Закон України «Про рекламу» // Урядовий кур'єр. – 1996. – № 137-138 (зі змінами та доповненнями). – С. 6–7. 2. Правила размещения рекламы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.** 3. Веб-сайт ПАТ «Сан ІнБев Україна» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.suninbev.com.ua/> 4. Алкоголь и здоровье: европейский доклад о положении дел, 2014 г. Маркетинг алкогольных напитков [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.euro.who.int/Marketing-of-alcoholic-beverages-Rus.pdf>

Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Савченко М.Ф.

5. ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНІКИ ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 539.3

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Лавінський Д.В., канд. техн наук,
Морачковський О.К., докт. техн. наук, проф.
(Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна)

У статті розглянуто загальну постановку зв'язаної задачі деформування електропровідних тіл при наявності електромагнітного поля, запропоновано ефективний метод чисельного аналізу пружно-пластичного деформування під дією електромагнітного поля. Для побудови методу чисельного розв'язку застосовано метод скінчених елементів стосовно повної енергії системи.

Ключові слова: пружно-пластичне деформування, електромагнітне поле, метод скінчених елементів

В статье рассмотрена общая постановка связанной задачи деформирования электропроводных тел под действием электромагнитного пол, предложен эффективный метод анализа упруго-пластического деформирования. Для построения метода численного решения использован метод конечных элементов относительно полной энергии системы.

Ключевые слова: упруго-пластическое деформирование, электромагнитное поле, метод конечных элементов

The article contains a mathematical formulation of the coupled problem of inelastic deformation of structural elements under the action of electromagnetic field and the effective numerical method of solution is purposed. Finite element method which based on total energy of the system is used for creation of the numerical solution.

Key words: inelastic deformation, electromagnetic field, finite element method

Електромагнітне поле (ЕМП) є невід'ємною умовою роботи для безлічі елементів конструкцій і машин. Високоінтенсивні ЕМП призводять до виникнення значних рівнів енергії в електропровідних тілах, що може призводити до їх руйнування. Даний факт робить необхідним створення методів визначення напружено-деформованого стану (НДС) електропровідних тіл для подальшої оцінки міцності. Подібні методи мають базуватися на відповідних моделях зв'язаної термомеханіки суцільного середовища. Проблеми врахування зв'язаних полів постають при розв'язанні задач у рамках: теорії п'єзоелектрики (п'єземагнетизма і п'єзонапівпровідності) тіл завдяки широкому використанню електромеханічних перетворювачів енергії; теорії магнітопружності, яка досліджує механічну поведінку (зокрема, стійкість та міцність) електропровідного тіла в сильному магнітному полі; теорії поширення хвиль в деформованому тілі з урахуванням зв'язку між механічними і електромагнітними полями (для проблем геофізики і сейсмології). Вплив ЕМП на електропровідне тіло може моделюватись за допомогою введення електромагнітних сил та моментів. Рівні сил,

які викликаються „магнітною” складовою ЕМП є набагато вищими ніж ті, які викликаються „електричною” складовою. Тому, для задач, в яких головною метою є оцінювання конструктивної міцності основою може служити теорія магнітопружності. Основи теорії магнітопружності з урахуванням ефектів зв’язаності ЕМП і механічних полів напружень і деформацій в рухомому електропровідному тілі (у загальному випадку тіло є поляризованим і таким, що намагнічується), були закладені в роботах Кнопоффа і Чадвіка [1,2]. Вони розглядали поширення пружних хвиль з урахуванням магнітного поля Землі. Відзначимо, що існуючи аналітичні та напіваналітичні методи розв’язання задач деформування електропровідних тіл за наявності ЕМП добре розроблені лише для тіл канонічної форми. Вони можуть використовуватись при аналізі реальних конструкцій лише як оціночні. Також слід відзначити, що лише у малій кількості літературних джерел розглядаються питання створення методів аналізу або оцінювання конструкційної міцності тіл підданих впливу ЕМП. Таким чином, створення ефективних методів аналізу пружно-пластичного деформування електропровідних складених тіл з метою подальшого оцінювання їхньої конструкційної міцності є актуальною науково-практичною проблемою.

Сучасний підхід потребує, щоб аналіз пружно-пластичного деформування систем електропровідних тіл спирався на попередній аналіз розподілу ЕМП. Розподіл векторних компонент ЕМП у системах електропровідних тіл описується системою фундаментальних рівнянь Максвелла, які доповнюються матеріальними залежностями та граничними умовами:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \varepsilon_c \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{j}; \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu_c \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}; \vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0; \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0; \vec{j} = \gamma_c \vec{E} + \gamma_c [\dot{\vec{u}} \times \vec{B}] \quad (1)$$

$$\vec{D} = \varepsilon_c \vec{E}; B = \mu_c \vec{H}; \vec{E}_\Gamma \times \vec{n} = 0; \vec{D}_\Gamma \cdot \vec{n} = 0; \vec{H}_\Gamma \times \vec{n} = 0; \vec{B}_\Gamma \cdot \vec{n} = 0, \quad (2)$$

де $\vec{H}, \vec{E}, \vec{H}_\Gamma, \vec{E}_\Gamma$ – вектори напруженості магнітного та електричного полів у об’ємі тіла та на границі (Γ) тіла; $\vec{D}, \vec{B}, \vec{D}_\Gamma, \vec{B}_\Gamma$ – вектори електричної та магнітної індукції у об’ємі тіла та на границі (Γ) тіла; $\varepsilon_c, \mu_c, \gamma$ – електрична та магнітна проникність, та електрична провідність матеріалу; \vec{j} – вектор густини сили струму; \vec{n} – вектор нормалі до границі тіла. Розподіл компонент тензорів напружень $\vec{\sigma}$ та деформацій $\vec{\varepsilon}$, а також вектора переміщень \vec{u} піддається системі рівнянь, яка містить диференційні рівняння рівноваги, геометричні залежності, матеріальні залежності стану та граничні умови:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{\sigma} + \rho \vec{f} = 0; \vec{\varepsilon} = \frac{1}{2} [\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^\Gamma]; \vec{\varepsilon} = {}^{(4)}\vec{S} \cdot \vec{\sigma}; \quad (3)$$

$$\vec{\sigma}_n = \vec{p} + \frac{\Xi}{2} \vec{E}_\Gamma + \frac{\mu_c}{2} (\Xi \dot{\vec{u}} \times \vec{n} + \vec{i}) \times H_\Gamma,$$

де ρ – густина матеріалу; \vec{f} – вектор інтенсивності об’ємних сил (у випадку врахування електромагнітних сил $\vec{f} = \vec{j} \times \vec{B}$); ${}^{(4)}\vec{S}$ – тензор відповідності 4-го

рангу, який у випадку пружного деформування має вигляд відповідно до лінійного закону Гука; \vec{p} – поверхневе навантаження; Ξ, \vec{i} – густина поверхневих зарядів та струмів. При розгляді пружно-пластичного деформування поведінка матеріалу розглядається у інкрементальній формі (3) разом із умовою пластичності (4):

$$d\bar{\varepsilon} = \frac{1+\nu}{E} \left(d\bar{\sigma} - \frac{3\nu}{1+\nu} d\bar{\sigma}_0 \bar{I} \right) + \frac{3}{2} d\varepsilon_i^p \frac{\bar{s} - \bar{\beta}}{\sigma_i}; \quad \beta = \frac{2}{3} \frac{EE_h}{E - E_h} \bar{\varepsilon}^p; \quad (4)$$

$$\sqrt{\frac{3}{2} \text{tr}((\bar{s} - \bar{\beta})^2)} - \sigma_T = 0, \quad (5)$$

де σ_i – інтенсивність напружень; \bar{I} – одиничний тензор; $\bar{\sigma}_0$ – кульовий тензор напружень; \bar{s} – девіатор напружень; $\bar{\varepsilon}^p$ – тензор деформацій пластичності; ε_i^p – інтенсивність пластичних деформацій; E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; σ_T – межа текучості; E_h – модуль зміцнення.

Аналіз пружно-пластичного деформування систем електропровідних тіл складної геометрії потребує використання чисельних методів. До найбільш універсальних методів відноситься метод скінчених елементів (МСЕ). МСЕ дозволяє у рамках єдиної розрахункової схеми розглядати розподіл векторних компонент електромагнітного поля (ЕМП) та тензорних компонент процесу деформування. Конкретна реалізація МСЕ у даному випадку спирається на варіаційний принцип стаціонарності повної енергії системи електропровідних тіл.

По-перше, для зменшення кількості рівнянь, які описують розподіл ЕМП, вводимо у розгляд векторний магнітний потенціал, який зв'язаний із основними векторними компонентами ЕМП наступними чином:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}; \quad \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = \mu_c \vec{j}, \quad (6)$$

де \vec{B} – вектор магнітної індукції; \vec{A} – векторний магнітний потенціал. Рівняння (6) записані для випадку нехтування нелінійною «магнітною» поведінкою матеріалу та без врахування «електричної» складової ЕМП, бо для аналізу деформування електропровідних тіл її внесок є неістотним.

Вираз повної енергії має наступний вигляд:

$$E = U + W, \quad (7)$$

де U – енергія квазіпружного деформування; W – енергія ЕМП (при нехтуванні електричною складовою);

$$U = \frac{1}{2} \int_V \bar{\varepsilon} \dots^{(4)} C \dots \bar{\varepsilon} dV - \int_V (\vec{j} \times \vec{B}) \cdot \vec{u} dV - \int_{A_p} \left(\vec{p} + \frac{1}{2} \vec{i} \times \vec{B} \right) \cdot \vec{u} dA; \quad (8)$$

$$W = \int_V \left(\frac{1}{2} |\vec{\nabla} \times \vec{A}|^2 - \vec{j} \cdot \vec{A} \right) dV, \quad (9)$$

де $\bar{\varepsilon}$ – тензор деформацій; ${}^{(4)}C$ – тензор коефіцієнтів пружності; \vec{u} – вектор переміщень; \vec{p} – поверхневе навантаження; \vec{i} – густина поверхневого струму.

Згідно до схеми МСЕ вирази для енергій можна представити так:

$$U = \frac{1}{2} \{u\}^T [K] \{u\}; \quad W = \frac{1}{2} \{A\}^T [M] \{A\}, \quad (10)$$

де $\{u\}$ – вектор-стовпець переміщень; $[K]$ – матриця жорсткості; $\{A\}$ – вектор-стовпець вузлових значень векторного магнітного потенціалу; $[M]$ – „магнітна” матриця матеріалу, яка залежить від властивостей матеріалу та від геометрії тіла. Розв’язок повинен задовольняти наступному варіаційному рівнянню $\delta E = \delta U + \delta W = 0$., яке призводить до наступних залежностей:

$$\delta E = 0 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial E}{\partial A} = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial u} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} [M] \{A\} + [M_k] \{u\} = 0; \\ [K] \{u\} + [K_m] \{A\} = 0, \end{cases} \quad (11)$$

$$[M_k] = \frac{1}{2} \{u\}^T \frac{\partial [K]}{\partial \{A\}}; \quad [K_m] = \frac{1}{2} \{A\}^T \frac{\partial [M]}{\partial \{u\}},$$

тут $[M_k]$ та $[K_m]$ – матриці, які характеризують зв’язаність електромагнітних та механічних полів. Далі одержуємо взаємозв’язані системи алгебраїчних рівнянь відносно вузлових переміщень та вузлових значень векторного магнітного потенціалу. У випадку пластичного деформування повинен використовуватись ітераційний процес, особливості якого розглянуті у статті [3].

За допомогою запропонованого методу аналізувалось пружно-пластичне деформування технологічних систем «індуктор – заготовка», які зустрічаються у операціях магнітно-імпульсної обробки матеріалів. Було розглянуте деформування складений одновиткових індукторів, які призначено для деформування тонких феромагнітних та не феромагнітних заготовок [3-5]. Одержані результати стосовно розподілу векторних компонент ЕМП та тензорно-векторних характеристик процесу деформування дозволили зробити оцінки працездатності технологічних систем.

Список літератури: 1. *L. Knopoff*. The interactions between elastic waves motions and a magnetic field in electric conductor, *J. Geophys., Res.* 60, –1955, pp 441–456. 2. *P. Chadwick*. Elastic wave propagation in a magnetic field, in: *Actes IX Congr. Intern. Mech. Appl.*, Vol. 7, Univ. Bruxelles, Bruxelles, – 1957, pp. 143–158. 3. Inelastic deformation of conductive bodies in electromagnetic fields / *Altenbach H., Morachkovsky O., Naumenko K., Lavinsky D.* // *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 27 (12), 1-13 (2015). 4. *Лавінський Д. В.* Нестационарне деформування елементів конструкцій під дією електромагнітного поля / *Д. В. Лавінський, О. К. Морачковський* // *Вібрації в техніці та технологіях*. – 2014. – № 4 (76). – С. 19-23. 5. *Лавінський Д. В.* Пружно-пластичне деформування систем тіл при дії електромагнітних полів / *Д. В. Лавінський, О. К. Морачковський* // *Фізико-математичні науки: Вісник Запорізького національного університету: зб. наук. ст.* – Запоріжжя: ЗНУ, 2015. – № 2. – С. 125-135.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УСТАЛОСТНОЙ ДЕГРАДАЦИИ СТАЛИ 40X МЕТОДОМ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ

Вакуленко К.В., канд. техн. наук, **Казак И.Б.**, канд. техн. наук,
Сорочинский С.В.

*(Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины,
Харьков, Украина)*

Исследовано изменение коэрцитивной силы стали 40X после циклического нагружения и последующего поверхностного пластического деформирования. Ее прирост обнаружен уже при малых деформациях. Поверхностное пластическое деформирование образцов с частично деградированной структурой приводит к снижению коэрцитивной силы.

Ключевые слова: *циклическое нагружение, деградация структуры, коэрцитивная сила, поверхностное пластическое деформирование*

Досліджено зміну коерцитивної сили сталі 40X після циклічного навантаження і подальшого поверхневого пластичного деформування. Її приріст виявлений вже при малих деформаціях. Поверхнєве пластичне деформування зразків з частково деградованою структурою приводить до зниження коерцитивної сили.

Ключові слова: *циклічне навантаження, деградація структури, коерцитивна сила, поверхнєве пластичне деформування*

The changes of the coercive force of steel 40X after cyclic loading and subsequent surface plastic deformation is studied. Its growth was found even at small deformations. Surface plastic deformation of samples with partially degraded structure leads to a decrease in the coercive force.

Key words: *cyclic loading, degradation of structure, coercive force, surface plastic deformation.*

Вопросы повышения надежности и долговечности эксплуатируемых изделий машиностроения приобретают особое значение в связи с возрастанием требований к механическим свойствам материалов из-за интенсификации различных технологических процессов и тяжелых условий эксплуатации.

В связи с этим на первый план выходит задача своевременного определения уровня деградации структурного состояния металлических изделий, работающих в условиях различных нагрузок. Для ее решения необходим простой, доступный, и в то же время достаточно информативный метод неразрушающего контроля металла.

Таким методом сегодня можно с уверенностью назвать метод измерения коэрцитивной силы, которая является весьма структурно чувствительной характеристикой, отражающей деградацию материала изделия по мере развития и накопления в нем усталостных дефектов. Кроме того, метод достаточно прост в эксплуатации, а его эффективность в плане оценки микроповрежденности металла подтверждается во многих работах [например, 1-3].

В данной работе коэрцитиметрия использовалась для оценки степени деградации структуры стали 40X, применяемой в машиностроении для изготовления деталей, к которым предъявляются требования повышенной прочности.

Цель работы заключалась в определении закономерностей изменения ко-

эрцитивной силы после усталостных испытаний стальных образцов в исходном состоянии и после поверхностного пластического деформирования (наклепа).

Испытания на усталость осуществляли в воздушной среде при комнатной температуре. Схема испытаний обеспечивала приложение растягивающей нагрузки по оси образца. Частота нагружения составляла 11,4 Гц, а амплитуда изменялась от 420 до 600 МПа. Критерием окончания испытаний являлось достижение заданного числа циклов нагружения ($5 \cdot 10^6$ циклов) или полное разрушение образца. Для всех исследуемых образцов на всех этапах эксперимента осуществляли измерения коэрцитивной силы (H_c) с помощью структуроскопа-коэрцитиметра КРМ-Ц-К2М.

Для проведения испытаний были использованы две партии цилиндрических образцов из стали 40Х в состоянии поставки. Образцы обеих партий испытывали при одних и тех же амплитудах напряжения. Отличие для II партии состояло в том, что испытания осуществляли в два этапа с промежуточной поверхностной обработкой. Первый этап заканчивался после того как образец при определенной амплитуде напряжения простоял приблизительно 40 % от общего количества циклов нагружения, определяемого по результатам испытаний образцов I партии. Затем его снимали с испытательной машины и измеряли коэрцитивную силу. Также на этом этапе определяли относительное удлинение (деформацию) образцов. После этого поверхности образцов подвергали пластическому деформированию (наклепу) путем механической обработки их рабочей части с помощью бойкового инструмента с электромеханическим приводом. На обработанных таким образом образцах затем опять измеряли коэрцитивную силу, после чего устанавливали на испытательную машину и испытания были продолжены на соответствующем для каждого образца уровне напряжений.

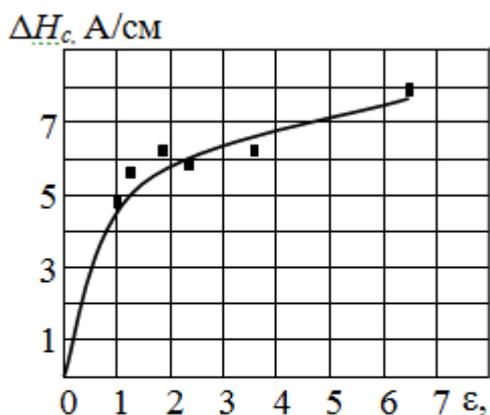


Рис. 1 – Зависимость приращения коэрцитивной силы от степени деформации.

В результате испытаний для всех образцов I партии в исследованном диапазоне амплитуд наблюдалось увеличение значений коэрцитивной силы, которое составило от 60 до 110 %.

Поскольку для испытаний на усталость характерен некоторый разброс результатов, можно считать, что разрушение образцов происходило примерно при одинаковом уровне изменения коэрцитивной силы по сравнению с первоначальным значением при всех амплитудах напряжения – в среднем в 1,8 – 2 раза. По-видимому, это значение коэрцитивной силы характеризует такую степень накопления усталостных микрповреждений в структуре материала, которая приводит в итоге к его разрушению.

На рис. 1 представлено изменение коэрцитивной силы от относительного удлинения (деформации) после первого этапа испытаний в условиях циклического нагружения для образцов II партии. Видно, что циклическое нагружение уже на начальном этапе приводит к существенному возрастанию ΔH_c – от 0 до 4,8 – 5,5 А/см, что составляет от 54 до 67 % от величины H_c образцов до испы-

таний. Величина деформация образцов при этом изменяется от 1 до 1,5 %. При деформациях $\varepsilon > 1,5$ % наблюдается перелом, и дальнейший прирост ΔH_c происходит с более низкой скоростью – ΔH_c изменяется от 5,5 до 7,9 А/см.

В физическом смысле эта кривая отражает изменение скорости накопления дефектов в металле. Высокая скорость роста ΔH_c на начальном этапе деформации свидетельствует о достаточно быстром накоплении повреждений на начальных этапах нагружения.

На рис. 2 представлены результаты измерений коэрцитивной силы на образцах II партии после наработки 40 % от общего количества циклов, а также последующей поверхностной обработки. Как видно, на всех образцах после первого этапа нагружения произошло повышение коэрцитивной силы на 4,8 – 7,6 А/см. В процентном соотношении на этом этапе испытаний повышение составило 54 – 96 %.

В результате поверхностной обработки образцов II партии после первого этапа нагружения произошло снижение H_c от 1,2 до 2,6 А/см, что составило соответственно от 9 до 17 %. Наблюдалась тенденция к более существенному снижению H_c после поверхностной обработки на образцах, испытывавшихся при более высоких амплитудах ($\sigma_{max} > 500$ МПа).

После поверхностной обработки образцы II партии снова испытывали циклически при соответствующих амплитудах с последующим измерением H_c по окончании испытаний.

Итоговые результаты измерений H_c для образцов II партии, подвергнутых поверхностному пластическому деформированию и прошедших двухэтапные испытания, приведены на рис. 3.

После окончания испытаний прирост коэрцитивной силы по сравнению с исходными значениями увеличился во всем диапазоне исследованных напряжений от 4,4 до 7,4 А/см, что составило от 49 до 94 %. Сравнение значений коэрцитивной силы после испытаний показало, что ее увеличение по сравнению с исходными значениями для обеих партий образцов в среднем составляет от 50

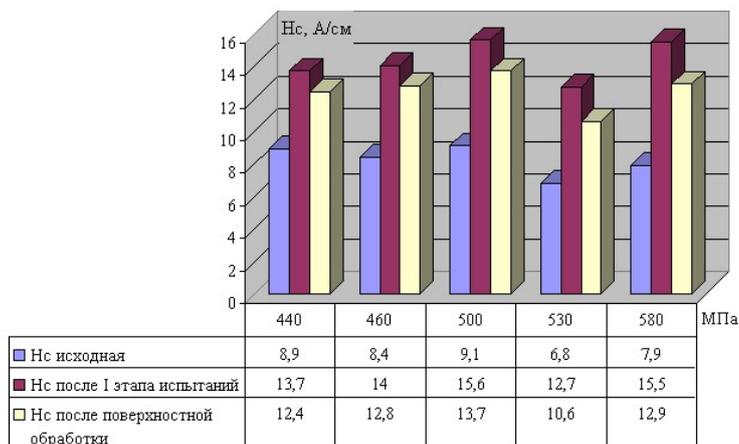


Рис. 2 – Изменение H_c для II партии образцов после первого этапа испытаний и последующей поверхностной обработки.

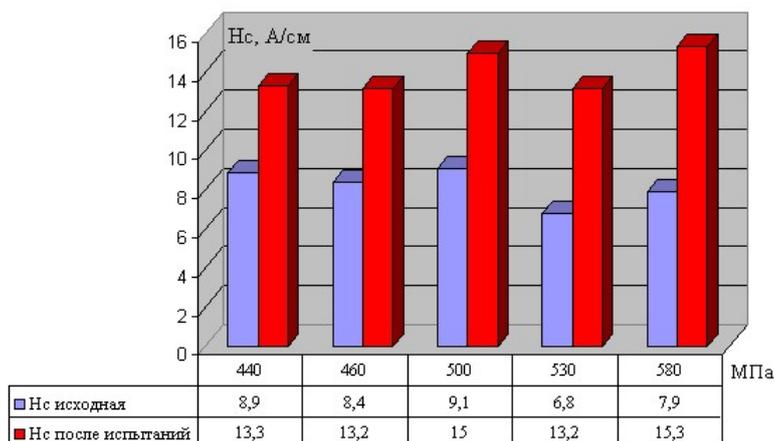


Рис. 3. – Изменение H_c для II партии образцов после второго этапа испытаний.

до 100 %. Полученный в результате усталостных испытаний обеих партий образцов рост значений коэрцитивной силы характеризует увеличение степени накопления усталостных повреждений в структуре металла, приводящих, в конце концов, к его разрушению.

Уменьшение величины коэрцитивной силы после поверхностного пластического деформирования предположительно связано с частичным залечиванием микродефектов структуры металла, накопленных в результате циклического нагружения на первом этапе испытаний [4]. Сравнение результатов усталостных испытаний двух партий образцов свидетельствуют о том, что проведенная обработка поверхности позволила повысить долговечность образцов II партии в 2,8 – 3,5 раза (рис. 4).

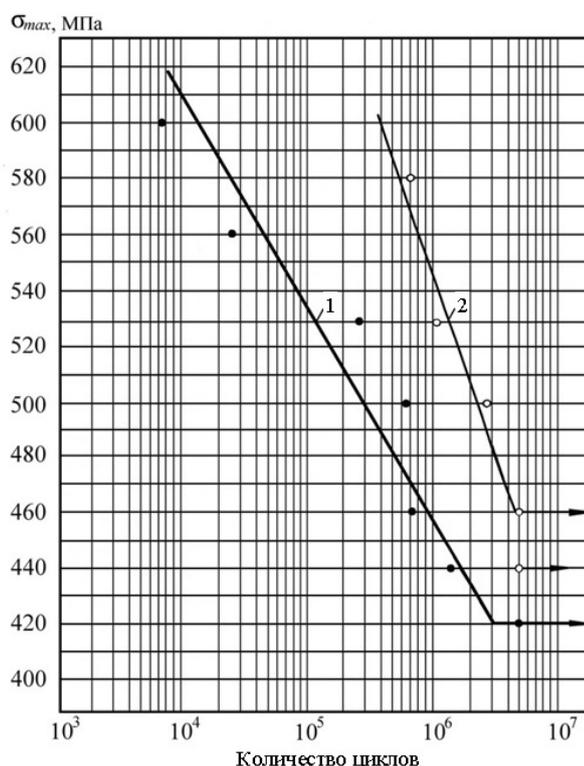


Рис. 4 – Результаты циклических испытаний стали 40Х:
1 – исходное состояние; 2 – с промежуточной поверхностной обработкой

Таким образом, использование метода контроля коэрцитивной силы для изучения кинетики увеличения концентрации поверхностных дефектов металла, дает возможность прогнозировать его долговечность.

Список литературы: 1. Обзорная оценка состояния и детальная экспертиза усталости металла больших размеров объектов и конструкций неразрушающим коэрцитиметрическим методом / Г.Я. Безлюдько, О.П. Завальнюк, В.Б. Нестеренко и др. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012.– №3. – С.57-65. 2. Магнитный контроль и структурно-текстурные особенности металла кислородных баллонов / Л.М. Лобанов, В.А. Нехотяцкий, М.Д. Рабкина и др. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2011.– №1. – С.7-12. 3. Остап О.П. Діагностування структурно-механічного стану сталей парогонів коерцитиметричним методом і прогнозування їх ресурсу / О.П. Остап, О.В. Вольдемаров, П.В. Гладий // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013.– №5. – С.98-111. 4. Мацевитый В.М. О залечивании дефектов в металлах при пластической деформации / В.М. Мацевитый, К.В. Вакуленко, И.Б. Казак // Проблемы машиностроения. – 2012. – Т.15, №1. – С. 66-76.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ НА УСТАЛОСТНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СТАЛИ 40X

Библик И.В., Вакуленко К.В., канд. техн. наук,
Казак И.Б., канд. техн. наук, **Ярещенко В.Г.**, канд. техн. наук
(Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина)

Установлена возможность применения комплексного подхода, основанного на компьютерном моделировании и коэрцитиметрическом контроле, для оценки усталостной долговечности образцов стали 40X в исходном состоянии и после поверхностного пластического деформирования.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, коэрцитивная сила, состояние поверхности, усталостная долговечность.

Встановлено можливість застосування комплексного підходу, заснованого на комп'ютерному моделюванні і коерцитиметричному контролі, для оцінки втомної довговічності зразків сталі 40X в початковому стані і після поверхневого пластичного деформування.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, коерцитивна сила, стан поверхні, втомна довговічність.

The possibility of an integrated approach, based on computer modeling and coercimetric control to assess the fatigue life of 40X steel specimens in the initial state and after the surface plastic deformation was established.

Keywords: Computer modeling, coercive force, surface state, fatigue life.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности совместного использования результатов коэрцитиметрического контроля и компьютерного моделирования для оценки влияния состояния поверхностного слоя образцов стали 40X на усталостную долговечность.

Усталостные испытания в одном диапазоне амплитуд напряжений проводили на двух партиях образцов. Для образцов второй партии испытания осуществляли в два этапа. После того как образец второй партии при определенной амплитуде напряжения простоял некоторое количество циклов (~ 40 % от общей долговечности, определяемой по результатам испытаний образцов первой партии при данной амплитуде), его разгружали и измеряли коэрцитивную силу. Затем образцы второй партии подвергали поверхностной пластической деформации (наклепу) с использованием бойкового инструмента с электромеханическим приводом, после чего снова нагружали при соответствующих амплитудах с последующим измерением коэрцитивной силы по окончании испытаний.

Компьютерное моделирование усталостного поведения исследованных образцов проводилось в рамках специального расчетно-экспериментального метода (РЭМ) [1]. Для получения диаграмм усталости образцов стали 40X в исходном состоянии и после поверхностной обработки создавалась традиционная модель материала, представляющая собой массив структурных элементов с заданными прочностными и деформационными свойствами, и проводилось ком-

пьютерное «нагружение» образцов с соответствующим выбранной амплитуде напряжения (σ_A) шагом. Для каждой амплитуды напряжения в соответствии с моделью разрушения определялось количество шагов до разрушения.

На рис. 1 приведены результаты сравнения диаграмм усталости, полученных экспериментально для образцов стали 40Х в исходном состоянии (линия 1) и после поверхностного упрочнения (линия 2), с результатами компьютерного моделирования (точки).

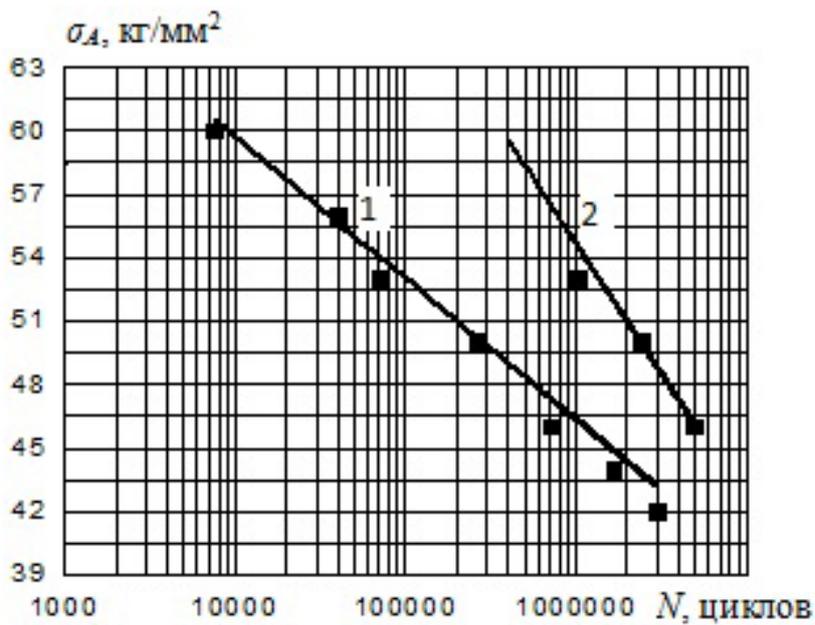


Рис.1 – Сравнение экспериментально полученных диаграмм усталости образцов стали 40Х с результатами компьютерного моделирования

При построении диаграммы усталости для образцов стали 40Х после поверхностной обработки использовался следующий алгоритм:

- в рамках РЭМ создавалась традиционная модель материала;
- для каждой амплитуды циклического напряжения определялось количество шагов до разрушения;
- определялось число шагов, соответствующее первому этапу испытаний образцов (40 %-ой долговечности);
- запоминалась (сохранялась в памяти компьютера) модель материала, соответствующая 40 %-ой долговечности;
- для каждой амплитуды циклического нагружения выбиралась толщина поверхностного слоя, в котором происходило «залечивание» микродефектов, образовавшихся на первом этапе циклического нагружения [2].

Известно [3], что величина коэрцитивной силы, определяемая в результате коэрцитиметрического контроля, является весьма структурно чувствительной характеристикой, отражающей деградацию материала по мере развития и накопления в нем усталостных дефектов. Компьютерное моделирование усталостного поведения конструкционных материалов также дает возможность определять усталостную повреждаемость на каждом этапе циклического нагружения.

На рис. 2 проведено сравнение зависимостей, полученных двумя методами, которые определяют скорость накопления усталостных повреждений в исследованных образцах (черный цвет – образцы стали 40X в исходном состоянии; серый цвет – образцы после поверхностной обработки).

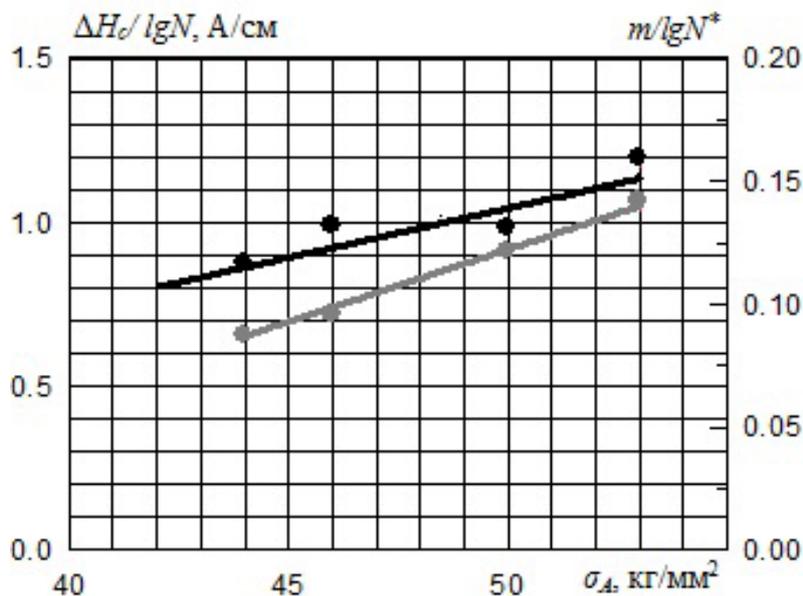


Рис. 2 – Сравнение результатов, полученных для образцов стали 40X в исходном состоянии и после поверхностной обработки

Точки определяют изменение коэрцитивной силы в процессе циклического нагружения (ΔH_c), отнесенное к логарифму числа циклов до разрушения (N), от амплитуды напряжения цикла, а линии определяют зависимость между числом разрушенных структурных элементов (m), отнесенном к логарифму числа шагов до разрушения (N^*), полученную с помощью РЭМ. Необходимо заметить, что практически полное совпадение зависимостей наблюдается как для образцов в исходном состоянии, так и для поверхностно упрочненных образцов. Абсолютные значения скорости накопления повреждений выше для неупрочненных образцов.

Сравнение результатов, приведенных на рис. 2, оправдано, поскольку характер изменения коэрцитивной силы в процессе многоциклового нагружения аналогичен характеру зависимости числа разрушенных структурных элементов при компьютерном моделировании многоциклового усталости.

На рис. 3 приведены зависимости относительной поврежденности (числа разрушенных структурных элементов) от числа циклов при амплитуде напряжения 53 кг/мм² для образца в исходном состоянии (черный цвет) и для образца после поверхностной обработки (серый цвет); точки соответствуют значениям коэрцитивной силы (H_c).

Наблюдаемое уменьшение величины коэрцитивной силы после поверхностного пластического деформирования (точки 1 и 2 на рис. 3 соответственно) свидетельствует об уменьшении степени деградации материала в результате заживления накопленных усталостных дефектов.

Таким образом, комплексный подход, сочетающий коэрцитиметрический контроль с компьютерным моделированием процесса накопления усталостной поврежденности в исследованных образцах, может быть использован не только для прогнозирования их усталостной долговечности, но и для оценки эффективности способов поверхностной обработки.

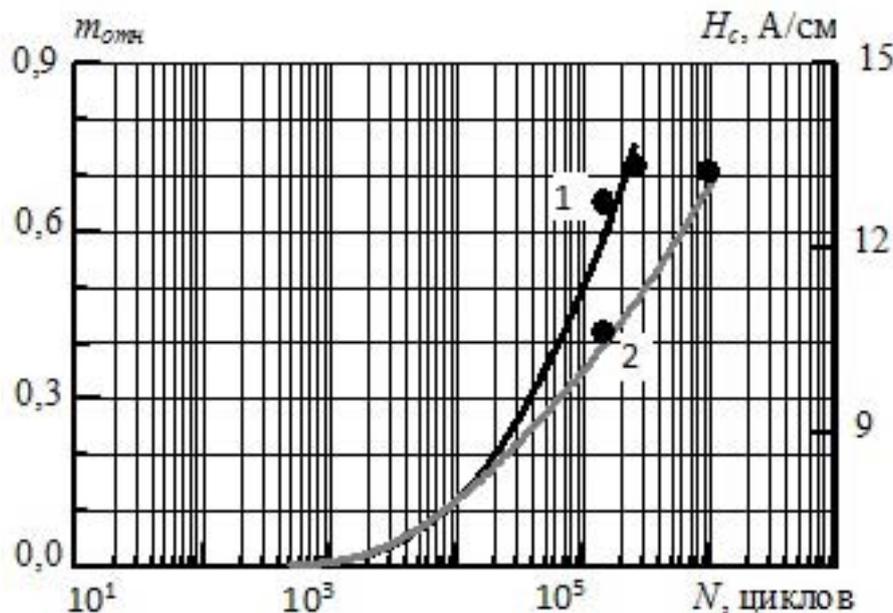


Рис. 3 – Зависимости относительной усталостной поврежденности для исследованных образцов

Отличительной особенностью совместного использования магнитного контроля по коэрцитивной силе и компьютерного моделирования в рамках РЭМ является возможность выявления начальных стадий зарождения дефектов и предупреждения их развития до критических размеров. Такой подход может быть актуальным в связи с переходом от эксплуатации оборудования «на отказ» к работе его с заданным уровнем надежности и безопасности, т.е. с «прогнозируемым ресурсом».

Список литературы: 1. Милешкин М.Б. Применение специального рас-четно-экспериментального метода для оценки остаточного ресурса элементов конструкций по фактическому состоянию материала / М.Б. Милешкин, И.В. Библик // Надежность и долговечность машин и сооружений: международный научно-технический сборник. – Киев: ИПП НАНУ, 2006. – Вып. 27. – С. 304-310. 2. Вакуленко К.В. Влияние состояния поверхностного слоя на характеристики сопротивления усталости стали 40Х / К.В. Вакуленко, И.Б. Казак, В.М. Мацевитый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 3/5 (81). – С. 18-24. 3. Безлюдько Г.Я. Оценка усталостного и напряженно-деформированного состояния металлоконструкций и оборудования, включая прогноз остаточного ресурса, по измерениям магнитной характеристики – коэрцитивной силы / Г. Я. Безлюдько, Б. Е. Попов, Р. Н. Соломаха // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – №1. – С. 55-58.

ВЛИЯНИЕ ОКРУЖНЫХ И ОСЕВЫХ НАВАЛОВ ЛОПАСТЕЙ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

Русанов А.В.¹, член-корр. НАН Украины,
Хорев О.Н.¹, канд. техн. наук,
Рябова С.А.², Косьянов Д.Ю.¹, канд. техн. наук,
Сухоревый П.Н.¹, канд. техн. наук

(¹ Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков;

² ПАО «Турбоатом», Харьков, Украина)

Выполнены численные исследования влияния окружных и осевых навалов рабочих колес осевой гидротурбины на характеристики потока в проточной части. Проведен анализ структуры потока, приведены зависимости значения мощности и КПД от величины окружных и осевых навалов при оптимальном режиме работы.

Ключевые слова: осевая гидротурбина, проточная часть, пространственное профилирование, окружной и осевой навал, рабочее колесо

Виконано чисельні дослідження впливу окружних і осьових навалів робочих коліс осевої гідротурбіни на характеристики потоку в проточній частині. Проведено аналіз структури потоку, наведено залежності значення потужності і ККД від величини окружних і осьових навалів при оптимальному режимі роботи.

Ключові слова: осьо́ва гідротурбі́на, проточна части́на, просторове профілювання, окружний і осьово́ї навал, робоче колесо

Numerical investigations of influence of circular and axial offsets of the runner blades of the Kaplan turbine upon flow characteristics in the flow part have been carried out. The analysis of the flow pattern has been conducted and dependences of capacity and efficiency values on circular and axial offset value at optimum operating condition are shown.

Keywords: Kaplan turbine, flow part, spatial profiling, circular and axial offsets, runner

Перспективным способом повышения эффективности проточных частей (ПЧ) гидротурбин является их гидродинамическое усовершенствование за счет пространственного профилирования их основных элементов. В ИПМаш НАН Украины накоплен большой опыт по пространственному профилированию направляющих и рабочих лопаток паровых турбин [1] с помощью окружного и осевого навалов. При навалах форма сечений лопастей остается неизменной, меняется только вид линии привязки и, как следствие, взаимное положение сечений в окружном или осевом направлениях. Сложный навал в окружном или осевом направлении образуется за счет придания линии привязки лопасти формы кривой второго порядка, которая задается углом саблевидности $\gamma_{U, D}$ и относительной длиной изогнутого участка лопасти \bar{l}_U .

В настоящей статье приведены результаты исследований влияния пространственного профилирования лопастей РК при помощи сложных периферийных окружных и осевых навалов на структуру потока и энергетические показатели проточной части осевой гидротурбины.

Исследования выполнены с помощью программного комплекса *IPMFlow*, позволяющего моделировать пространственные вязкие течения несжимаемой жидкости в проточных частях гидротурбин на основе численного интегрирования уравнений Рейнольдса с дополнительным членом, содержащим искусственную сжимаемость. Для учета турбулентных эффектов применяется дифференциальная двухпараметрическая модель *SST* Менгера.

Численное интегрирование уравнений проводится с помощью неявной квазилинейной схемы Годунова второго порядка точности по пространству и времени. Подробное описание математической модели и численного метода представлено в работах [2].

В качестве объекта исследования выбрана ПЧ часть осевой поворотно-лопастной гидротурбины ПЛ20 Кременчугской ГЭС. Расчетная область состоит из одного межлопаточного канала направляющего аппарата, межлопаточного канала рабочего колеса (РК) ПЛ 20/3271у и отсасывающей трубы (ОТ).

Дискретизация расчетной области выполнена с помощью неструктурированной сетки с шестигранными ячейками. Общее число ячеек 1,640 млн: один межлопаточный канал в решетке НА – 518 тыс., один межлопаточный канал в решетке РК – 622 тыс., отсасывающая труба – 500 тыс.

Численные исследования выполнены для модели с диаметром РК $D_1=1$ м при напоре $H=1$ м для оптимального режима: приведенный расход $Q_1'=1117,9$ л/с, приведенная частота вращения $n_1'=152,9$ мин⁻¹, открытие НА $a_0=26$ мм, угол установки лопасти РК $\varphi_n=15^\circ$, угол потока на входе в расчетную область $\alpha_n=38,9^\circ$.

Для определения влияния окружного навала численные исследования проведены для расчетных областей с исходными лопастями РК (угол саблевидности $\gamma_U=0^\circ$) и четырьмя вариантами сложного окружного навала (углы саблевидности $\gamma_U=-40^\circ; -20^\circ; +20^\circ; +40^\circ$). Применение навала с углом $\gamma_U=40^\circ$ приводит к сдвигу периферийного сечения в окружном направлении относительно исходного варианта на $7,5^\circ$, с углом $\gamma_U=20^\circ$ – на $3,3^\circ$.

Для осевого навала расчеты проведены для ПЧ с исходным РК и лопастей рабочего колеса с осевым периферийным навалом при четырех значениях углов саблевидности $\gamma_U: -20^\circ; -10^\circ; +10^\circ; +20^\circ$. Осевой навал с положительными значениями угла саблевидности приводит к смещению периферийного участка лопасти вниз по потоку и наоборот, с отрицательными – вверх.

Результаты влияния навалов на структуру потока оценивались по эпюрам давления вдоль сечений лопасти; распределению компонент скорости за РК и характеру течения в ОТ. Рассмотрены также зависимости мощности и КПД от величин навалов.

Исследования показали, что применение окружных и осевых навалов лопастей РК практически не оказывает влияния на распределение компонент скорости и углов потока за НА и перед РК.

На рис. 1 приведено распределение давления на поверхностях лопасти в периферийной зоне (90 % ширины лопасти) области РК для пяти вариантов окружного и осевого навалов. При окружных навалах в периферийной зоне лопасти происходит существенное перераспределение эпюр давления во входной

части лопасти, особенно на стороне разрежения, здесь при отрицательных значениях угла саблевидности давление значительно понижается, а при положительных – возрастает. Применение осевого навала приводит к заметному изменению перепада давления вдоль всех сечений лопасти. Больше влияние этот вид навала оказывает на эпюры давления на напорной стороне: положительные углы саблевидности γ_U повышают уровень давления, отрицательные – понижают. На стороне разрежения навалы оказывают существенное влияние на величину давления только на периферии.

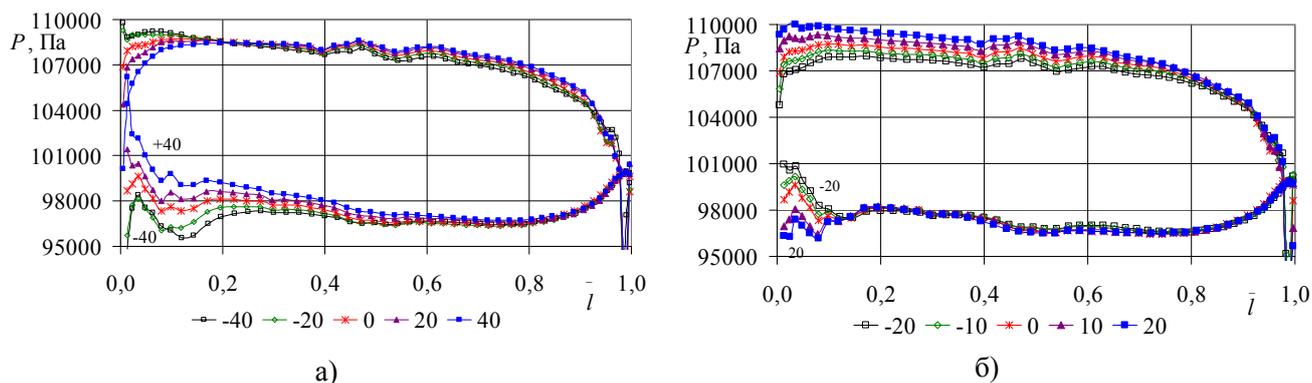


Рис. 1 – Распределение давления вдоль сечений лопасти РК при разных видах навалов: а) окружной навал; б) осевой навал

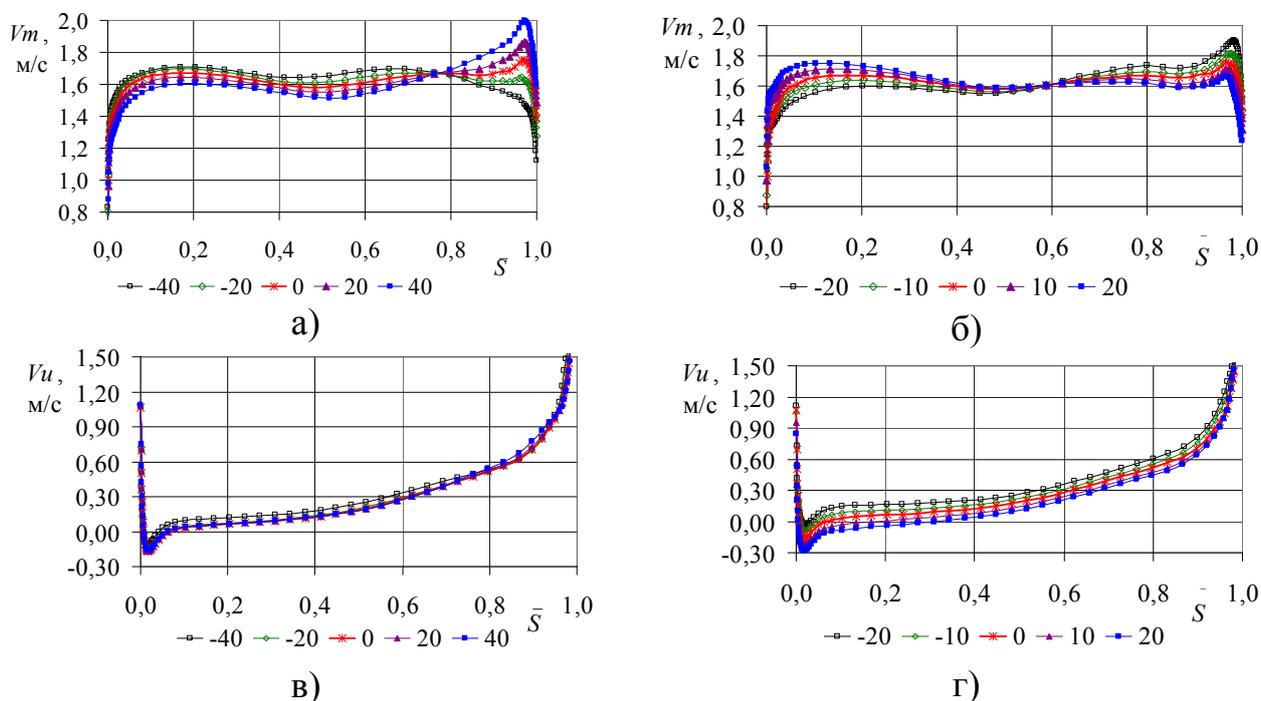


Рис. 2 – Распределение по ширине канала параметров потока за РК при разных значениях навалов лопасти РК:

а) меридиональная скорость при окружном навале; б) меридиональная скорость при осевом навале; в) окружная скорость при окружном навале; г) окружная скорость при осевом навале

На рис. 2 приведено распределение по ширине канала меридиональной (расходной) V_m и окружной V_u скоростей за РК при разных значениях угла саблевидности γ_U при окружном и осевом навалах.

Из рисунка видно, что влияние осевого навала на величину окружной скорости угла потока за РК существенно больше, чем окружного. Смещение периферийного участка лопасти вниз по потоку при осевом навале приводит к уменьшению значений V_u по всей ширине канала, максимальное влияние наблюдается во втулочной области. При окружном же навале влияние на распределение окружной скорости наблюдается только в периферийной области. Навалы заметно изменяют распределение расходной скорости V_m : при окружном большее влияние – на периферийном участке, при осевом – на периферии и у втулки (рис. 4б).

По результатам проведенных исследований было определено влияние окружного и осевого навалов на энергетические характеристики ПЧ гидротурбины.

В таблице приведены значения относительной мощности \bar{N} и КПД $\bar{\eta}$ от значений угла саблевидности.

Под относительной мощностью и КПД понимается отношение этих величин в рабочих колесах с навалами к соответствующим значениям исходного варианта ПЧ ($\gamma_U = 0^\circ$).

Таблица

Влияние навалов на КПД и мощность

Параметр	Окружной навал					Осевой навал				
	-40	-20	0	+20	+40	-20	-10	0	+10	+20
КПД	100,61	100,74	100,0	99,06	98,21	98,81	99,68	100,0	100,21	99,95
Мощность	99,84	100,71	100,0	98,81	97,28	93,86	97,12	100,0	102,66	105,11

При окружном навале максимальное значение относительной мощности и КПД получены в ПЧ с РК с углом саблевидности $\gamma_U = -20^\circ$ – повышение относительно исходного варианта составило 0,74 % по КПД и 0,71 % по мощности.

При осевом навале значения мощности и возрастает при смещении периферийного участка лопасти вниз по потоку. Максимум КПД получен у варианта ПЧ с РК с углом саблевидности $\gamma_U = +10^\circ$: его повышение относительно исходного варианта составило 0,21 %.

Список литературы: 1. Русанов А.В. Влияние сложного навала рабочих и направляющих лопаток ЦВД паровой турбины на аэродинамические характеристики проточной части [Текст] / А.В. Русанов, Ю.П. Волков // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2008. – Вып. 3(13). – С. 93 – 97. 2. Русанов А.В. Математическое моделирование нестационарных газодинамических процессов в проточных частях турбомашин / А.В. Русанов, С.В. Ершов [Монография]. – Харьков: Ин-т пробл. машиностроен. НАН Украины, 2008. – 275 с.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ КАПСУЛЬНОГО ТИПА СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Третьяк А.В., канд. техн. наук, зав. сектором¹, ассистент²

Шуть А.Ю., зам. начальника отдела¹

Гакал П.Г., докт. техн. наук, доц., зав. кафедрой²

Полиенко В.Р., студент каф. 205²

(¹ГП «ЗАВОД «ЭЛЕКТРОТЯЖМАШ», Харьков, Украина)

(²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина)

Проведено розрахункові дослідження з визначення теплового стану гідрогенераторів капсульного типу. Результати дозволять підвищити надійність роботи гідроелектростанцій та енергосистеми в цілому. Представлено розрахунок тривимірного теплового стану загальної конструкції гідрогенератора, що виконано вперше.

Ключові слова: гідрогенератор, тепловий стан, капсульний тип.

Проведены расчетные исследования по определению теплового состояния гидрогенераторов капсульного типа. Результаты позволят повысить надежность работы гидроэлектростанций и энергосистемы в целом. Представлен расчет трехмерного теплового состояния общей конструкции гидрогенератора, который выполнены впервые.

Ключевые слова: гидрогенератор, тепловое состояние, капсульный тип.

Calculation studies to determine thermal state of bulb Hydrogenerators were carried out. The results let increase reliability of Hydro Power Plants and power system as a whole. The calculation of three-dimensional thermal state of general design of Hydrogenerator that was done for the first time.

Key words: hydrogenerator, thermal state, bulb type.

Конструкция гидрогенератора в значительной степени определяется характеристиками его привода – гидравлической турбины. Поэтому гидрогенератор является обычно тихоходной синхронной машиной; его скорость вращения редко превышает 500 об/мин, хотя встречаются гидрогенераторы со скоростью вращения до 1000 об/мин.

В зависимости от конструктивного типа турбины гидрогенератор может быть вертикального или горизонтального исполнения, а также существует капсульный тип гидрогенератора, где турбина и гидрогенератор объединены в одном корпусе, находящемся в проточной части гидроэлектростанции (рис. 1). Единичная мощность капсульных гидроагрегатов не превышает 50 МВт, однако при необходимости она может быть значительно повышена.

В капсульных гидрогенераторах применяется принудительное охлаждение. Это, прежде всего, жидкостные системы непосредственного охлаждения обмоток и сердечников. Внедрение этих систем, характеризующихся большей эффективностью и экономичностью, что позволяет повысить удельные электромагнитные и тепловые нагрузки машин и ее единичную мощность. Получили развитие две принципиально отличные системы охлаждения крупных капсульных машин: аксиальная – воздухом нормального или повышенного давления и непосредственное водяное охлаждение.

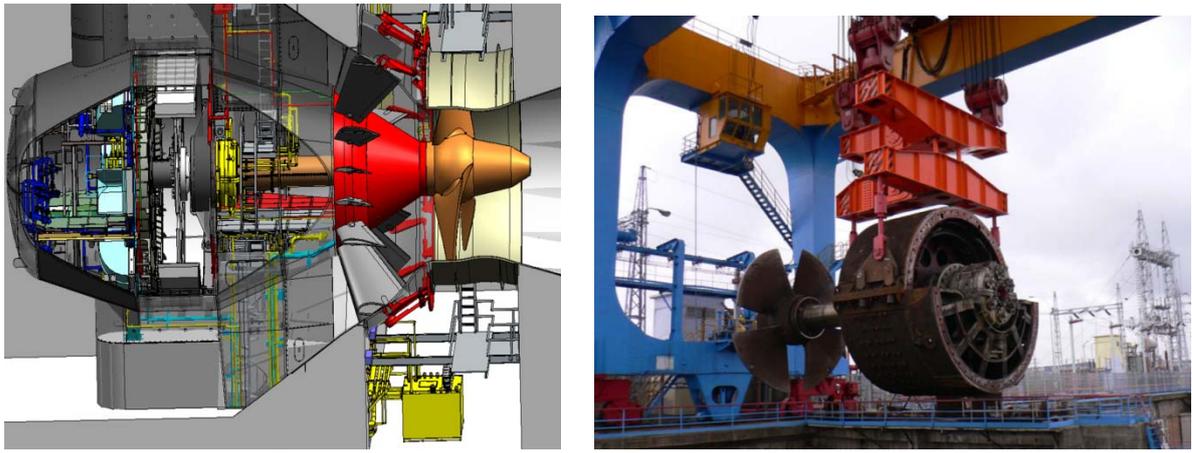


Рис. 1 – Капсульный гидрогенератор

При применении аксиальной принудительной вентиляции с циркулирующей воздухом по замкнутому циклу для обеспечения необходимой интенсивности теплосъема со статора в зубцах сердечника выполняются продольные щелевидные каналы, позволяющие в несколько раз увеличить охлаждаемую поверхность.

При аксиальной воздушной системе охлаждения мощность, затрачиваемая на вентиляцию генератора, становится весьма значительной и КПД резко снижается. Именно это обстоятельство заставляет в крупных капсульных генераторах повышать давление воздуха; при этом потери на вентиляцию снижаются пропорционально абсолютному давлению. Однако такое решение приводит к значительному усложнению конструкции статора и его уплотнений, системы маслоснабжения подшипников, системы дренажа из капсулы, появлению тяжелой диафрагмы между камерами генератора и турбины.

Использование непосредственного водяного охлаждения обмоток статора и ротора, а также сердечников полюсов устраняет все указанные выше трудности и полностью исключило необходимость искусственной циркуляции воздуха в генераторе. Стоит обратить особое внимание, что помимо получения обычных преимуществ (снижение габаритов и массы), водяное охлаждение применительно к капсульным гидрогенераторам большой мощности позволяет также значительно упростить конструкцию ряда узлов, однако снижает общую надежность генераторного оборудования. При выполнении расчета теплового состояния капсульного гидрогенератора был реализован расчет теплового состояния всей конструкции с учетом основных и добавочных электрических потерь, вентиляционных потерь, потерь вызванных силами трения. Для обеспечения наиболее точного теплового состояния электрической машины построена подробная трехмерная модель конструкции (рис. 2)

В данной работе в качестве средства моделирования использован прикладной программный пакет SolidWorks и в частности его модуль для моделирования течения жидкостей и газов – Flow simulation. Flow simulation - программное обеспечение, полностью интегрированное в SolidWorks для расчёта жидкостных и газовых потоков внутри и снаружи модели SolidWorks, а также рассчитывающее теплопередачу от, к и между этими моделями конвекцией, излучением и теплопроводностью с помощью технологий вычислительной гидр-

газодинамики (CFD). Flow Simulation моделирует движение потока, на основе решения уравнения Навье-Стокса, которое является интерпретацией законов сохранения массы, импульса и энергии для потока жидкости. Под жидкостью здесь понимается и газ и жидкость, в виду отсутствия в русском языке аналога слову Fluid [4]. Уравнения дополнены выражениями состояния жидкости, которые определяют природу жидкости и эмпирическими зависимостями плотности, вязкости и теплопроводности жидкости от температуры. Несжимаемые не-ньютоновские жидкости рассматриваются по зависимости их динамической вязкости от скорости деформации сдвига и температуры, а сжимаемые жидкости рассматриваются по зависимости их плотности от давления. Ещё одна часть уравнений отвечает за геометрию потока, граничные и начальные условия.

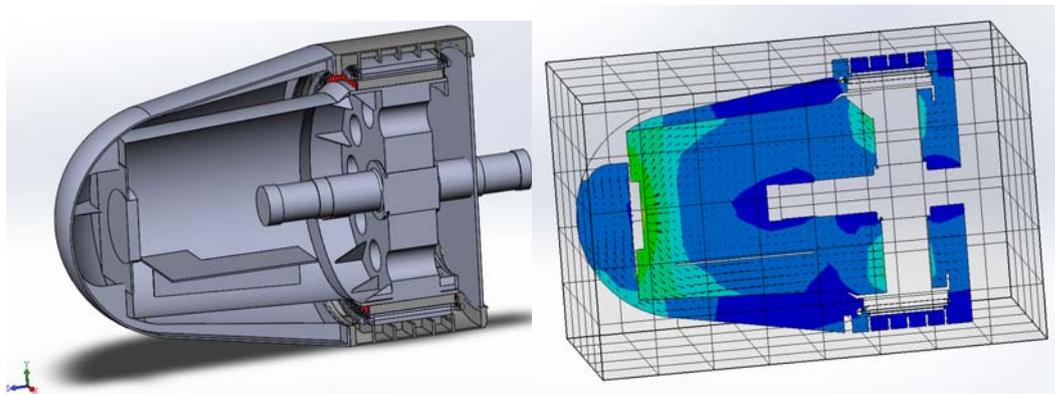
Законы сохранения массы, импульса и энергии для потока жидкости в декартовой системе координат, которая вращается с угловой скоростью Ω вокруг оси, проходящей через начало системы координат можно записать:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_i) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + p\varepsilon + S_i u_i + Q_H$$

$$H = h + \frac{u^2}{2}$$



Конструкторская проработка

Результаты расчета

Рис. 2 – Трёхмерная модель гидрогенератора капсульного типа

В представленной работе, впервые решена задача расчета теплового состояния гидрогенератора в трехмерной постановке (рис. 2), отличающаяся от существующих тем, что при выполнении расчета были учтены все особенности конструкции генератора, включая лобовые части стержневых обмоток, а также уточнены начальные и граничные условия. Особое внимание при дальнейшем развитии работы необходимо уделить расчету основных и добавочных потерь.

Список литературы: 1. *Tabernero A., Batlle B.* Predictive Maintenance in hydrogenerators // Presented in Hydro 2007. – Spain, Granada. – 2007. – С. 1–8. – http://www.unitronics-electric.com/pdf/Paper_Hydro_Marketing_low.pdf. 2. *Neumayer F., Ramsauer F., Himmelreich M., Kastner G.* Methods for Fixation of the Rotor Winding Overhang of Large Asynchronous Hydrogenerators // Colloquium on new development of rotating electrical machines. – Beijing, China. – 2011. – С. 86-92. 3. *Кобзар К.О., Шуть О.Ю., Овсянникова О.О., Сенецький О.В., Третяк О.В.* Аналіз причин пошкодження турбогенераторів та гідрогенераторів шляхом визначення скаладнонапруженого стану деталей // Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Вісник НТУ «ХП»: Зб. наук. праць. – Харків, 2016. – № 8(1180). – С. 136-142. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.19. 4. *Ошовский В.В.* Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов / *Ошовский В.В., Охрименко Д.И., Сысоев А.Ю.* // «Наукові праці Донецького національного технічного університету». Серія «Хімія і хімічна технологія». – Выпуск № 15. – Донецк. 2010. 5. *Алямовский А.А.* Компьютерное моделирование в инженерной практике / *Алямовский А.А.* // СПб: БХВ-Петербург. 2005. – С. 163-170.

УДК 621.763:717

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК У РІДКОМУ АЛЮМІНІЄВОМУ СПЛАВІ ПРИ ВІДЦЕНТРОВОМУ АРМУВАННІ ВИЛИВОК З ДВОМА ОСЯМИ ОБЕРТАННЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ

Роп'як Л. Я., канд. техн. наук, **Воробйов М. С.**, докт. техн. наук,
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна)

Маковійчук М. В., канд. фіз.-мат. наук
(Івано-Франківський відділ Інституту прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України, Івано-Франківськ, Україна)

Розроблено математичну модель процесу відцентрового армування твердими частинками оксидів циліндричних виливок із алюмінієвого сплаву з двома взаємно перпендикулярними осями обертання ливарної форми.

Ключові слова: технологічний процес, відцентрове армування, виливки, тверді армуючі частинки оксидів, ливарна форма, математична модель

Разработана математическая модель процесса центробежного армирования твердыми частицами оксидов цилиндрических отливок с алюминиевого сплава с двумя взаимно перпендикулярными осями вращения литейной формы.

Ключевые слова: технологический процесс, центробежное армирование, отливки, твердые армирующие частицы оксидов, литейная форма, математическая модель

The mathematical model of the process of reinforcement of centrifugal solids cylindrical castings oxides with aluminum alloy with two mutually perpendicular axes of rotation of the mold.

Keywords: technological process, centrifugal reinforcement, founding, reinforcing the solid oxide particles, casthouse form, mathematical model

У машинобудуванні широке розповсюдження набувають функціонально орієнтовані технології, які забезпечують формування зон деталей із спеціальними властивостями ще на стадії отримання заготовок. До таких технологій належать поєднання процесів відцентрового литва і армування заготовок [1–6]. В

залежності від просторового розташування осі обертання ливарної форми розрізняють відцентрове армування з: горизонтальною віссю [1]; вертикальною віссю [1–3]; похилою (змінною) віссю [4]; двома взаємно перпендикулярними осями [5, 6]. При відцентровому армуванні застосовують частинки з питомою вагою, більшою від питомої ваги матриці [1, 2, 4–6] або з меншою [3].

Аналіз літературних джерел свідчить, що дослідники в основному зосереджувались на вивченні процесів відцентрового армування заготовок з однією віссю обертання ливарної форми [1–5].

У роботі [6] дослідили рух твердих частинок у рідкому сплаві при відцентровому армуванні з двома взаємно перпендикулярними осями обертання ливарної форми, але структурний аналіз приводу не провели, як і обґрунтування кількості узагальнених координат системи. Крім цього, використаний тут метод перетворення координат є складним для інженерних розрахунків і дозволяє проаналізувати рух твердих армуючих частинок тільки в рухомій системі координат, що стримує розробку технології відцентрового армування з двома осями обертання ливарної форми.

Метою даної роботи є побудова більш досконалої математичної моделі процесу відцентрового армування виливок з алюмінієвого сплаву твердими частинками оксидів з двома взаємно перпендикулярними осями обертання ливарної, яка дозволяє аналізувати рух цих частинок як в рухомій, так і в нерухомій системах координат.

Привод обертання ливарної форми, для схеми відцентрового армування виливок (рисунок), побудований з використанням відкритого просторового ланцюга, який має два ступеня вільності.

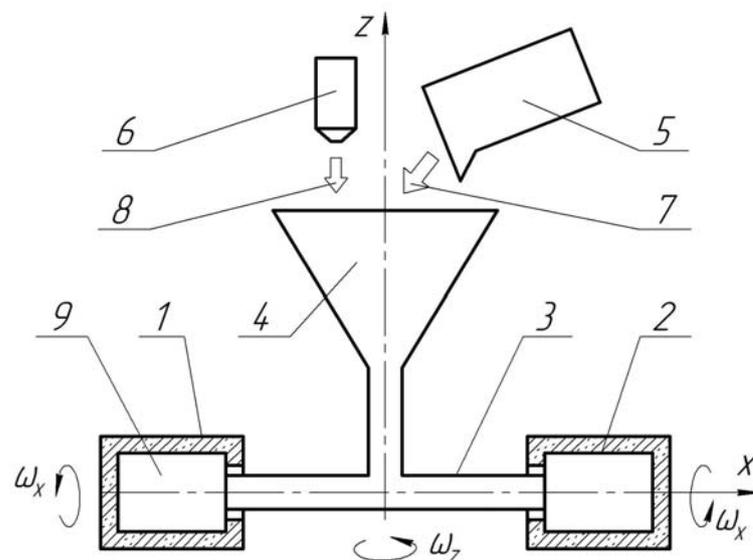


Рисунок – Схема відцентрового армування виливок з двома взаємно перпендикулярними осями обертання ливарної форми:

- 1 – опока; 2 – ливарна форма; 3 – ливникова система; 4 – лійка; 5 – тигель; 6 – дозатор; 7 – рідкий алюмінієвий сплав; 8 – тверді армуючі частинки оксидів; 9 – армована виливка

Для отримання відцентрово армованих виливок надають обертання опокам навколо горизонтальної осі, яка співпадає із віссю ливарної форми, та обертання всій системі навколо вертикальної осі.

Після цього одночасно подають з тигля розтоплений алюмінієвий сплав, а із дозатора – тверді армуючі частинки оксиду алюмінію через лінійку в ливникову систему і далі в ливарну форму, де і формується армована заготовка.

Для побудови математичної моделі було складено диференціальне рівняння руху твердої частинки у рідкому алюмінії в неінерційній системі координат. Особливістю даної моделі є те, що в ній сила лобового опору руху армуючої частинки обчислюється в залежності від величини її швидкості.

Запропонована математична модель процесу відцентрового армування має перевагу щодо можливості аналізу руху твердих частинок в рідкому алюмінієвому сплаві як в рухомій, так і в нерухомій системах координат. Побудовано траєкторії руху твердих частинок оксиду алюмінію у рідкому алюмінієвому сплаві при армуванні циліндричних виливок. Показано, що варіюючи величинами кутових швидкостей ω_x і ω_z можна отримувати армовану зону в заготовці необхідних геометричних розмірів та форми.

На основі результатів теоретичних досліджень визначено величини кутових швидкостей обертання ливарної форми навколо горизонтальної та вертикальної осей для забезпечення формування у виливках із алюмінієвого сплаву армованої зони частинками оксиду алюмінію заданих геометричних розмірів і форми. Такого типу заготовки доцільно використовувати для виготовлення деталей, робочі поверхні яких підлягають зміцненню мікродуговим оксидуванням.

Список літератури: 1. Бугай Ю. Н. Центробежно-армированный породоразрушающий буровой инструмент / Ю. Н. Бугай, И. В. Воробьев. – Львов: Выща школа. Изд-во при Львов ун-те, 1989. – 206 с. 2. Ясашин В. А. Конструкторские и технологические методы повышения эффективности работы буровых шарошечных долот большого диаметра [Текст]: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: спец. / В. А. Ясашин. – М., 2009. – 48 с. 3. Онисько О. Р. Технологічні аспекти армування тіл обертання гранулами легких карбідів у процесі електрошлакового відцентрового лиття: зб. наук. пр. / О. Р. Онисько, О. М. Богаченко, Л. Я. Роп'як // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2015. – Вип. 10. – С. 128–139. 4. Пат. 72194 Україна, МПК В 22D 13/02. Машина для відцентрового литва і армування виливків / І. О. Шуляр, Л. О. Боруцак, С. Л. Боруцак; заявник і патентовласник – автори. – У 201200992; заявл. 31.01.12; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15. – 3 с. 5. А. с. 1197249 СССР, МКИ³ В 22 D 19/02. Способ получения армированных отливок / Ю. Н. Бугай, В. В. Кустов, А. В. Быков, А. М. Гасалов, Р. Л. Алавердов (СССР); заявитель и патентообладатель ИФИНГ. – № 3505285/22-02; заявл. 27.10.82. 6. Шуляр І. Дослідження руху твердих частинок у рідкому сплаві при відцентровому армуванні з двома взаємно перпендикулярними осями обертання ливарної форми / І. Шуляр, М. Маковічук, Л. Роп'як // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). – Луцьк. – 2013. – Вип. 40. – С. 321–330.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Назаренко С. А., канд. техн. наук

(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

Формалізовано на єдиній комплексній науково-методологічній базі комп'ютерні технології мультифізичних процесів. Основоположним компонентом аналізу мультифізичних проблем є побудова пов'язаних моделей. Наведені приклади реалізованих інжинірингових розробок фізико-механічних процесів.

Ключові слова: комп'ютерні технології, фізико-механічні процеси, пов'язані моделі.

Описаны формализованные на единой комплексной научно-методологической базе компьютерные технологии мультифизических процессов. Основопологающим компонентом анализа мультифизических проблем является построение связанных моделей. Приведены примеры реализованных разработок физико-механических процессов.

Ключевые слова: компьютерные технологии, физические процессы, связанные модели.

The rapid development of CAD/CAM/CAE/CIM/PLM systems is a worldwide trend. The research includes a brief summary of main scientific results of multidisciplinary modeling of loaded structures and technological systems. The basic component analyses of multiphysics problems are to build related models. Examples of implemented applications of physical and mechanical processes in the manufacture are presented.

Keywords: technological systems, multiphysics, supercomputer simulation based design.

Одна из ключевых тенденций развития техники состоит в постоянно расширяющемся применении систем компьютерного моделирования, обеспечивающих максимально адекватное реальности виртуальное отображение нагруженных конструкций и технологических систем и приобретающих все более мультидисциплинарный характер [1-7].

Для современных конструкций и технологических систем объединение физических процессов представляется сложной совокупностью разнородных взаимосвязанных задач. Мультифизическое моделирование предполагает использование данных отдельных дисциплин (Structural Mechanics; Computational Science, Fluid Dynamics, Heat Transfer, Material Science и др.) и их синтез с целью создания единой математической модели для всестороннего исследования технологических систем, получения о них целостного представления и системного знания.

Универсальный потенциал виртуального тестирования (компьютерного моделирования) позволяет существенно уменьшить трудоемкие этапы экспериментальных исследований дорогостоящих макетов - образцов (Physical Prototyping) и перейти к более дешевой, оперативной, надежной и безопасной технологии апробации конструктивных реализаций с использованием цифровых многомерных моделей-прототипов (Digital Mock-Up, Digital Prototyping) [1-7].

Применение методики компьютерного проектирования "Simulation-Based Design" базируется на использовании многовариантного моделирования произ-

вольных характеристик и технологических систем во всевозможных условиях производства и эксплуатации.

Многоуровневость, многокомпонентность, многостадийность и многокритериальность задач проектирования и производства; выполнение многомодельных и многовариантных расчетов нагруженных конструкций и технологических систем закономерно привели к появлению наукоемких технологий MultiDisciplinary, MultiPhysics & MultiScale (разработки компьютерных моделей, основанных на закономерностях взаимосвязи и взаимозависимости реальных физических процессов) [1-7].

При мультифизическом моделировании анализируются взаимосвязанные и взаимозависимые процессы с применением теоретических положений, данных и методов различных научных дисциплин. При этом оно шире суммы отдельных областей знаний, так как содержит междисциплинарные связи. Мультифизическое моделирование конструкций и технологических систем может быть многопрофильным “Multifield”, “Multidomain” и / или многомасштабным “Multiscale”.

Основной среди них является "мультиполевая" концепция “Multifield”, означающая связанную проблему с несколькими различными физическими дисциплинами (уравнениями, полями). Это обусловлено тем, что конструкции и технологические системы функционируют в условиях механических, тепловых, электромагнитных, аэро- и гидродинамических, акустических и радиационных нагрузений с учетом факторов контактных взаимодействий и разрушений, мало- и многоциклового усталости, концентрации напряжений, многообразных разновидностей изнашивания и прочее. Примером является химико-термическая обработка в условиях энергетической поляризации, ультразвукового и электрических полей.

Концепция "многодоменности" (“Multidomain”) представляет отображение взаимодействия между расчетными континуальными подобластями конструкций и технологических систем со значительно отличающимися свойствами (например, взаимодействия жидкость-структура, физико-химические превращения вещества и т. д.).

При построении математической модели процесс литья расплавленного металла в форму представляется как нестационарная задача течения вязкой неоднородной жидкости с учетом конвективного теплообмена, фазовых переходов, взаимодействия различных сред (жидкого и застывшего сплава и вытесняемого из формы газа), изменения геометрии канала в ходе его заполнения.

В рамках исследований «MultiScale» технологических систем с многоуровневой структурой осуществляется последовательный переход от одномасштабных моделей к многомасштабным иерархическим нано – микро – мезо – макро моделям. При этом необходимо последовательно отобразить поведение и свойства отдельных компонентов структурно-неоднородных объектов (в первую очередь, материалов) на нано-, микро-, мезоуровнях, а всей конструкции – на макроуровне, определяемом характерными размерами агрегатов.

Концепция «MultiStage» реализуется для многостадийных этапов технологии “формирования и сборки” конкурентоспособной конструкции

(например, литье, прокатка, экструзия, прессование, вырубка, формовка, штамповка, ковка, гибка, сварка, клейка, пайка и т. д.). При создании систем надо учитывать проблему технологической наследственности, что обуславливает необходимость применения имитационного моделирования, при котором математически воссоздается во времени процесс.

Основополагающим ингредиентом анализа мультифизических проблем является построение связанных моделей. При моделировании, наиболее полно приближенном к реальным условиям работы технологических систем, была предпринята попытка интегрировать различные по физической природе процессы к единой унифицированной схеме с использованием повторяемых и отлаженных этапов [1-7]. Системы автоматизированного моделирования литейных процессов (Magma, Procast, SolidCast, CastCAE, WinCast, «Полигон», LVMFlow и т.д.) моделируют с учетом взаимного влияния следующие процессы: тепловые (поля температур и долей жидких фаз), усадочно-фильтрационные (поля давлений и поля пористости), гидродинамические (поля скоростей), электрические (поля электрических потенциалов).

С содействием модуля для критериального анализа могут быть получены поля распределений других структурных параметров, прочности: твердости, пригара, размыва и пр.. Исследуя полученные на базе расчётной методики распределения температурно-фазовых полей в отливке и форме, количество жидкой фазы, поля скоростей и давлений, места возможного образования усадочных раковин и микропористости, траекторию и места скопления шлаковых частиц можно с минимальным количеством натуральных экспериментов определять потенциал модификаций литейных технологических процессов.

На пример в ходе численного моделирования процесса литья корпуса поглощающего аппарата ПМКП-110 с помощью метода конечных объёмов были выявлены области отливки, становящиеся изолированными при застывании и в которых высока вероятность появления усадочных дефектов (рис 1). Отслеживалось также движение вброшенных в поток металла газовых и шлаковых частиц, обнаруживались области их концентрации. Полученные результаты совпали с отмечаемым на предприятии браком.

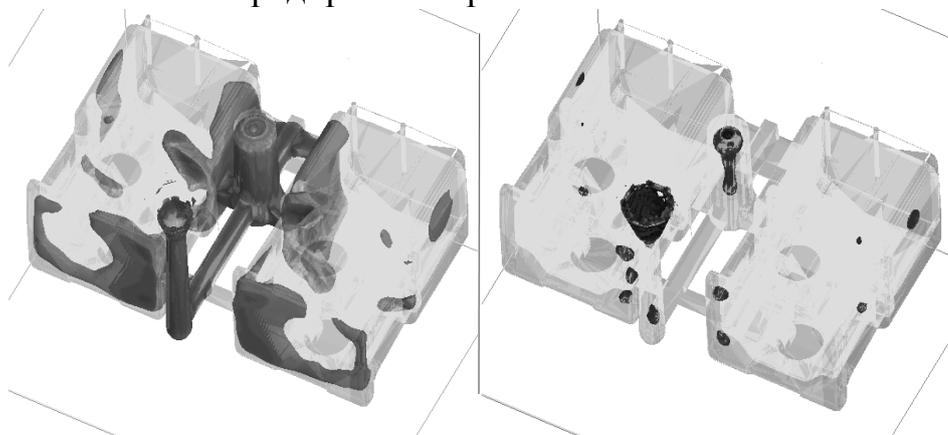


Рис. 1 – Области жидкого металла и местоположение усадочных раковин

Список литературы: 1. Тимофеев Ю.В. Обобщенная структура жизненного цикла машиностроительного производства и его изделий /Ю.В. Тимофеев, В. А. Фадеев, М.С. Степанов, С.А. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2009. – № 1. – С. 86–95. 2. Allison J.T. Multidiscipli-

nary Design Optimization of Dynamic Engineering Systems / *J.T. Allison, D.R. Herber* // AIAA Journal. – 2014. – Vol. 52. – №. 4. – P. 691-710. 3. Степанов М.С. Разработка метода многодисциплинарной оптимизации механико-технологических систем / *М.С. Степанов, С. А. Назаренко* // Вісник НТУ «ХПІ». – 2010. – № 24. – С. 32–40. 4. *Martins J.R.R.A.* Multidisciplinary design optimization: a survey of architectures / *J. R.R. A. Martins, A.B. Lambe* // AIAA journal. – 2013.–Vol. 51.–№. 9.–P. 2049-2075. 5. Назаренко С.А. Задачи оптимизации многокомпонентных тел неоднородной структуры / *С. А. Назаренко* // Вісник НТУ «ХПІ». – 2015. – № 57 (1166). – С. 87–90. doi: 10.20998/2078-9130.2015.57.72583. 6. *Martins J.R.R. A.* Review and unification of methods for computing derivatives of multidisciplinary computational models / *J.R.R.A. Martins, J. T. Hwang* //AIAA journal. – 2013. – Vol. 51. – №. 11. – P. 2582-2599. 7. Назаренко С. А. Математические модели мультифизического анализа конструкций для CALS технологий / *С.А. Назаренко* // Вісник НТУ «ХПІ».–2008. – №36. – С. 125–132. doi: 10.20998/2078-9130.2008.36.49628.

УДК 620.179.16: 620.179.17

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО – АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ КРУТИЛЬНЫХ ВОЛН В ТРУБЧАТЫХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЯХ

¹Сучков Г. М., докт. техн. наук, проф., ²Петрищев О. Н., докт. техн. наук, проф.,

¹Плеснецов С.Ю., канд. техн. наук, ассистент

¹(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)

E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

²(Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина)

Разработана физико-математическая модель возбуждения бегущих крутильных волн в ферромагнитной трубе. Установлена связь между геометрическими параметрами модели преобразователя и свойствами материала изделия с амплитудой возбуждаемых крутильных волн.

Ключевые слова: крутильные волны, электромагнитно – акустическое преобразование, трубчатое изделие.

Розроблено фізико-математичну модель збудження крутильних хвиль в ферромагнітної трубі. Встановлено зв'язок між геометричними параметрами моделі перетворювача і властивостями матеріалу виробу з амплітудою збуджених крутильних хвиль.

Ключові слова: крутильні хвилі, електромагнітно - акустичне перетворення, трубчастий виріб.

The physical and mathematical model of torsional waves excitation in the ferromagnetic tube is developed. The relationship between the geometric parameters of the converter model and material properties of the product with the amplitude of the excited torsional waves is determined.

Keywords: torsional waves, electromagnetic - acoustic conversion, tubular product

Введение. Стальные трубки малого диаметра широко применяются в энергетической, атомной, химической и других областях промышленности и должны подвергаться обязательному ультразвуковому неразрушающему контролю [1]. Для выявления в стенках трубок дефектов вида трещин, расслоений, пор, областей с аномалиями физико-механических характеристик эффективно применение недиспергирующих крутильных волн [1-2]. Применение для такого контроля традиционных контактных методов сложно и дорого [1, 3]. Исклю-

чить недостатки традиционных контактных методов возможно за счет применения электромагнитно – акустического (ЭМА) способа возбуждения и приема ультразвуковых импульсов [4].

Постановка задачи. Крутильные колебания поперечных сечений полого ферромагнитного стержня можно возбудить с помощью преобразователя, конструкция которого схематически показана на рис. 1. Позицией 1 на рис. 1 обозначен ферромагнитный полый стержень (трубка). В полости стержня, соосно с ним, расположен проводник 2, по которому протекает постоянный электрический ток I_0 . Этот проводник 2 является источником постоянного поля подмагничивания, вектор напряженности которого в цилиндрической системе координат (ρ, φ, z) (ось Oz совмещена с осью полого ферромагнитного стержня) имеет один круговой компонент $H_\varphi^0 = I_0 / (2\pi\rho)$, где ρ - текущее значение радиальной

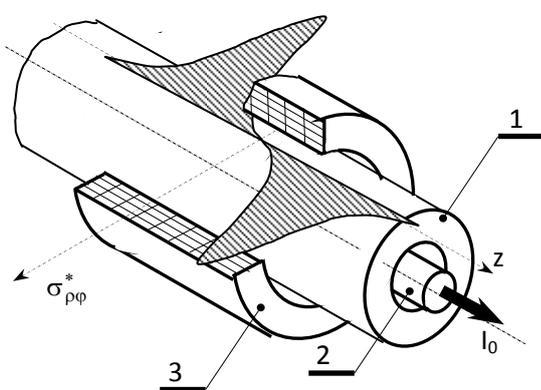


Рис. 1. Конструкция ЭМА преобразователя для возбуждения крутильных волн в полых ферромагнитных стержнях

координаты, причем $\rho \geq R_0$ (R_0 – радиус поперечного сечения проводника с постоянным током). Поле подмагничивания ориентирует домены в объеме ферромагнитного цилиндра таким образом, что переменное магнитное поле катушки 3 вызывает сдвиговые деформации и, в результате, бегущие недиспергируемые крутильные волны, которые эффективно выявляют дефекты различного типа.

Основная часть. Физическое состояние элемента объема деформируемого, предварительно намагниченного ферромагнетика определяется линеаризованными уравнениями, которые следуют из более

общих соотношений феноменологической теории магнитоэластических явлений [5]. При этом рядом расположенные плоские сечения изделия смещаются независимо. Дополним классическую формулировку гипотезы плоских поперечных сечений предположением о том, что магнитная индукция полого ферромагнитного стержня не изменяется в пределах поперечного сечения. Учтем, что в соответствии с принципом Даламбера алгебраическая сумма моментов внутренних и внешних сил в любой момент времени уравнивается моментом сил инерции материальных частиц движущегося тела. Дополнительный расчет позволил установить, что учет связности упругих и магнитных полей приводит к поправкам, которые в большинстве случаев не оказывают существенного влияния на количественные и качественные характеристики получаемых результатов.

Полагая, что все процессы в деформируемом стержне изменяются во времени по гармоническому закону $e^{i\omega t}$, запишем волновое уравнение для бегущих крутильных волн

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + k_s^2 \varphi = \frac{\mu^*(z)}{[GJ_p]^B}, \text{ где } k_s = \omega / v_s^B - \text{ волновое число, а}$$

$v_s^B = \sqrt{[GJ_p]^B / (\rho_0 J_p)}$ - скорость волн сдвига или крутильных волн в намагниченном ферромагнитном стержне. Рассмотрим решение этого уравнения для бесконечно длинной трубки. Очевидно, что внешние нагрузки, заданные линейной плотностью внешних крутящих моментов, локализованы в ограниченной по длине области стержня. Поскольку при $|z| \rightarrow \infty$ источники возмущений отсутствуют, искомое решение уравнения должно удовлетворять условиям физической реализуемости напряженно деформируемого состояния, т. е. $\lim_{|z| \rightarrow \infty} \left\{ \varphi; \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right\} = 0$. Выполнение

условий физической реализуемости позволяет применить для решения волнового уравнения метод интегральных преобразований [6] с использованием метода предельного поглощения [7]. В результате получаем

$$\varphi(z) = -\frac{i\pi}{[GJ_p]^B k_s} e^{-ik_s z} \mu^*(-k_s).$$

В общем виде решение можно записать [8]

$$\varphi(z) = \begin{cases} \Phi^{(-)} e^{-ik_s z}, & z > A, \\ \Phi^{(+)} e^{ik_s z}, & z < -A, \end{cases}$$

где $\Phi^{(\pm)}$ - смещения материальных частиц стержня во фронте волны; $\pm A$ - границы области существования переменного магнитного поля, причем

$$\Phi^{(\pm)} = -\frac{i}{2[GJ_p]^B k_s} \int_{-\infty}^{\infty} \mu^*(z) e^{\mp ik_s z} dz.$$

Поскольку характер распределения внешних нагрузок полностью определяется конструкцией их источника, то можно утверждать, что величины $\Phi^{(\pm)}$ содержат в своем аналитическом определении информацию о конструкции и основных параметрах источника механических возмущений.

Рассмотрим пример моделирования ЭМАП в режиме возбуждения крутильных волн (рис. 2). На рис. 2а изображена силовая линия магнитного поля катушки в некоторый фиксированный момент времени t_0 . Так как вектор напряженности магнитного поля $\vec{H}^*(\rho, z)$ является касательным вектором в каждой точке силовой линии, это позволяет качественно оценить характер изменения амплитудных значений компонентов вектора $\vec{H}^*(\rho, z)$ при изменении координаты z так, как это показано на рис. 2б.

В присутствии постоянного кругового поляризуемого магнитного поля $H_\varphi^0(\rho)$ на поверхности ферромагнитного стержня формируются касательные напряжения Джоуля $\sigma_{\rho\varphi}^* = (m_1 - m_2) H_\varphi^0 H_\rho^* / 2$. Эти напряжения создают крутящие моменты с плотностью $\mu^*(z) = \pi R^2 (m_1 - m_2) H_\varphi^0(R) H_\rho^*(R, z)$, характер изменения которых по длине стержня показан на рис. 2в. Воспользуемся аппроксимацией функции $\mu^*(z)$, которая показана на рис. 2в заштрихованными прямоугольниками. Полагая, что $\mu^*(z) = m_0^*$ при $\ell - \delta \leq z \leq \ell + \delta$ и

$\mu^*(z) = -m_0^*$ при $-l - \delta \leq z \leq -l + \delta$, получаем следующий результат $\Phi^{(\pm)} = \mp \frac{2m_0^* \delta}{GJ_p} W(k_s)$,

где символом $W(k_s)$ обозначена зависящая от частоты (волнового числа k_s) функция, числовые значения которой определяются по формуле $W(k_s) = \frac{\sin k_s l \sin k_s \delta}{k_s l k_s \delta}$. При $k_s \rightarrow 0$ функция

$$W(k_s) = 1$$

и

$$\Phi^{(\pm)} = \mp 2m_0^* \delta / [GJ_p]^B = \mp M^* l / [GJ_p]^B,$$

где

$M^* = 2\delta m_0^*$ – внешний крутящий момент. Последний результат означает, что сечения $z = l + \delta$ и $z = -l - \delta$ поворачиваются на угол $\pm \Phi_0$, величина которого определяется по формуле $\Phi_0 = M^* l / [GJ_p]^B$, что коррелирует с данными классических работ [9] для статического скручивания стержня кругового поперечного сечения. Соответствие результатов решения волнового уравнения с результатами известной теории кручения стержней кругового поперечного сечения свидетельствует в пользу достоверности расчета амплитуды углов поворотов поперечных сечений стержня во фронте крутильной волны. Расчетные данные изменения углов поворотов поперечных сечений $\Phi^{(\pm)}$ при $k_s \rightarrow 0$ приведены на рис. 2г.

Выводы. Анализ аналитического решения дифференциального уравнения и компьютерное моделирование позволили выделить часть решения в виде волновой характеристики ЭМА преобразователя, которая устанавливает связь между геометрическими параметрами модели преобразователя и свойствами материала изделия с амплитудой возбуждаемых крутильных волн на заданной частоте. Такое техническое решение позволяет проектировать ЭМАП с наперед заданными характеристиками.

Список литературы: 1. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Т.3 – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с. 2. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: кн. 2. – М.: Высшая школа, 1991. – 283 с. 3. Судакова К.В., Казюкевич И.Л. О повышении эффективности контроля качества металлургической продукции // В мире неразрушающего контроля. –

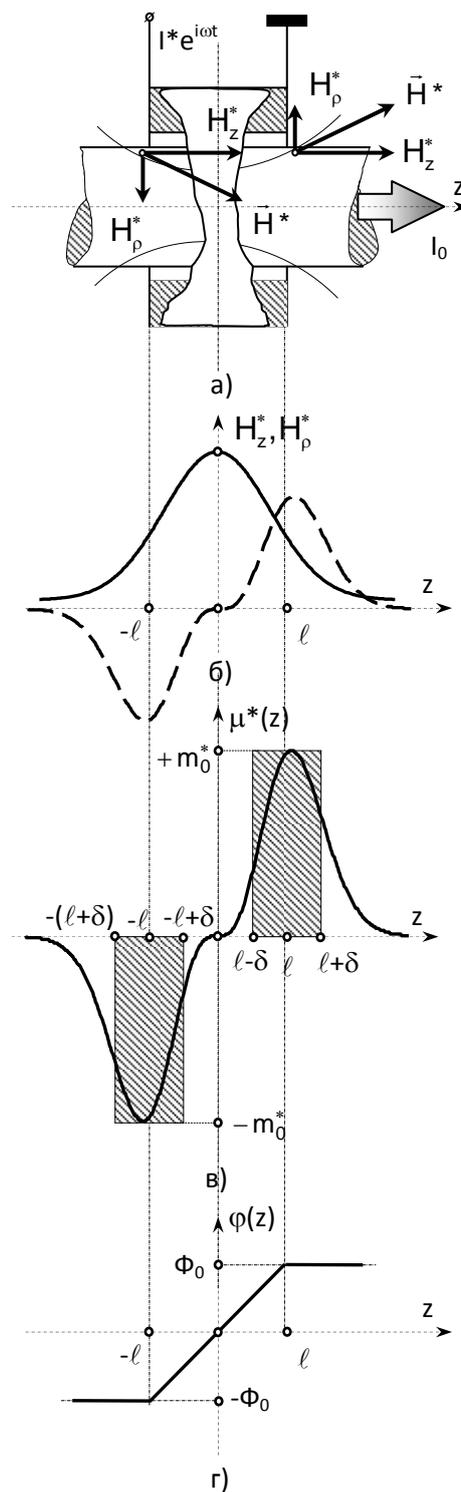


Рис. 2. Качественное моделирование ЭМА преобразователя в режиме возбуждения крутильных волн

2004. – № 3. – С. 8-10. 4. Сучков Г.М. Развитие теории и практики создания приборов для электромагнитно-акустического контроля металлоизделий / Дис. докт. техн. наук. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005, - 521 с. 5. Власов К. Б. Некоторые вопросы теории упругих ферромагнитных (магнитострикционных) сред // Изв. АН СССР. – 1957. – Т. 21. – № 8. – С. 1140–1148. 6. Кошляков Н. С., Глинер Э. Б., Смирнов М. М. Уравнения в частных производных математической физики. – М.: Высшая школа, 1970. – 710 с. 7. Миттра Р., Ли С. Аналитические методы теории волноводов. – М.: Мир, 1974. – 327 с. 8. Смирнов В. И. Курс высшей математики. Том III. Часть 2. – М.: Наука, 1974. – 672 с. 9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. – 512 с.

УДК 621:004.92(075.8)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕГРАЦІЇ МОДУЛІВ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЄДИНОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ ПІДПРИЄМСТВА

Кіяновський М.В., докт. техн. наук, проф., завідувач кафедру,
Дубровський С.С., канд. техн. наук, декан механіко-машинобудівного факультету,
Бондар О.В., канд. техн. наук, доц.
(ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна)

Аналіз та дослідження автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва за рахунок інтеграції модулів комп'ютерних технологій в єдиному інформаційному просторі підприємства на базі систем управління життєвим циклом виробу.

Ключові слова: комп'ютерні технології, життєвий цикл виробу, підприємство, автоматизація

Анализ и исследования автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства за счет интеграции модулей компьютерных технологий в едином информационном пространстве предприятия на базе систем управления жизненным циклом изделия.

Ключевые слова: компьютерные технологии, жизненный цикл изделия, предприятие, автоматизация

Analysis and research of automation of design and technological preparation of production due to the integration of computer technology modules in a single information space of the enterprise on the basis of product lifecycle management systems.

Keywords: Computer technology, product life cycle, enterprise, automation

В сучасних умовах, крім вимог до якості продукції, що випускається, додається ще й необхідність скорочення часу виходу її на ринок при одночасному задоволенні індивідуальних потреб клієнтів. На сьогодні інтеграція модулів комп'ютерних технологій в єдиному інформаційному просторі підприємства, створення «віртуальних підприємств» є актуальною задачею. Підприємства зосереджуються на виробленні концепції і проектування продукції, а все інше: від розробки до збірки - передають в аутсорсинг іншим підприємствам [1]. Але для контролю та інтеграції всіх процесів необхідні технології, які б поєднували і автоматизували всі етапи життєвого циклу продукту.

До числа таких комп'ютерних технологій відноситься PLM - системи (Product Lifecycle Management - управління життєвим циклом виробу) [2]. PLM - це набір програмних компонентів забезпечення комунікацій, інтеграції модулів автоматизованого проектування і візуалізації, а також інших рішень, що

охоплюють повний життєвий цикл продукту. Рішення класу PLM покликані об'єднати всіх учасників, що забезпечують життєвий цикл як всередині підприємства-виробника, так і поза ним, в тому числі постачальників, клієнтів і сервісних центрів [3].

Засобом для реалізації всіх цих завдань є ЛОЦМАН: PLM. Дана система покликана акумулювати в собі виробничу і управлінську інформацію, надавати її інженерним службами відповідно до визначених на підприємстві правилами, забезпечувати обмін завданнями між відділами та фахівцями. Безумовно, мова йде про інформацію, представлену в електронному вигляді, обміні даними між складовими єдиного програмного комплексу. Таким, наприклад, є комплекс ЛОЦМАН: PLM, що включає в себе системи автоматизації конструкторської підготовки виробництва КОМПАС-3D, систему автоматизації технологічної підготовки виробництва ВЕРТИКАЛЬ, набір єдиних баз даних (довідників) серії ЛОЦМАН, до яких можуть звертатися інші компоненти комплексу.

Робота з інформацією, що зберігається в базі, здійснюється користувачами через спеціальну програму «ЛОЦМАН Клієнт» або, як її ще називають, клієнтську програму. Клієнтська програма забезпечує одночасну роботу з даними безлічі користувачів. Розглядаючи об'єкти бази, фахівці отримують повний спектр інформації про товари. Кожен з них може бачити, перетворювати і зберігати дані відповідно до призначеними йому правами доступу до інформації. ЛОЦМАН: PLM має розвинений механізм роботи з файлами. За визначенням кожен документ системи може бути пов'язаний з одним або декількома файлами різних типів. Це дає можливість зберігати креслення, моделі, тексти, зображення, які відносяться до документу. Файли можна створювати, додавати, редагувати, переглядати, не перериваючи сеанс роботи з ЛОЦМАН: PLM. Найголовнішим функцією ЛОЦМАН: PLM є обмін інформацією між базою даних і системами конструкторсько-технологічного проектування, якими в комплексі АСКОН є КОМПАС-3D і ВЕРТИКАЛЬ.

Система ЛОЦМАН: PLM допоможе створити єдиний інформаційний простір на підприємстві, забезпечить скорочення термінів підготовки виробничої документації, надійно захистить дані від несанкціонованого доступу, а отже, дає перевагу перед конкурентами на сучасному ринку товарів та послуг.

Отже, впровадження PLM-систем на сучасному підприємстві дозволить забезпечити: надійний захист даних; можливість зберігання документів як всередині бази даних, так і в окремих файлах; підтримка версій об'єктів і документів; можливість перегляду стану бази даних на вказаний момент часу в минулому; тісна інтеграція з єдиними довідковими базами даних, використання інформації про матеріали і сортамент, стандартні вироби і т. п.; імпорт даних фактично з будь-якої структури; зручне представлення даних та багато іншого.

Список літератури: 1. *Antti Saaksvuori. Product Lifecycle Management: ISBN: 3540781730; - Springer; 3rd ed. edition (May 9, 2008). - 253 pages.* 2. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) -Fourth Edition, PMI, 2008. – 459 pages* 3. *Wil M.P. van der Aalst, "Business Process Management Demystified: A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management", Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol 3098/2004.*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ФОРСИРОВАНИЯ ВЕРТОЛЁТНОГО ГТД НА ВЗЛЕТНОМ РЕЖИМЕ ПУТЕМ ВПРЫСКА ВОДЫ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ

Дегтярёв О.Д., ст. преподаватель

(Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина)

Предложена возможность форсирования работы турбовального (вертолетного) двигателя на этапе взлета с высотных аэродромов. Представлен необходимый секундный расход воды для увеличения мощности двигателя.

Ключевые слова: вертолёт, высотная характеристика, турбовальный двигатель, впрыск воды, форсирование двигателя.

Запропоновано можливість форсування роботи турбовального (вертолітного) двигуна на етапі зльоту з висотних аеродромів. Представлено необхідні секундні витрати води для збільшення потужності двигуна.

Ключові слова: вертоліт, висотна характеристика, турбовальний двигун, вприскування води, форсування двигуна.

It suggested the possibility of speeding up the work turboshaft (helicopter) engine on take-off from the high-altitude airfields. Presented required second water flow to increase engine power.

Keywords: helicopter, pitch description, turboshaft engine, the injection of water, forcing of engine.

Взлёт вертолета при больших высотах ограничивается уменьшением мощности вертолетного газотурбинного двигателя (ГТД) из-за разреженности атмосферы, а так же необходимостью увеличить мощность двигателя из-за роста потребной мощности для воздушного винта вертолета.

Это в значительной степени ограничивает грузоподъёмность вертолета на больших высотах или требует применение набора скорости вертолета непосредственно перед отрывом от земли.

На рис. 1. показана зависимость мощности, потребной для висения и горизонтального полета вертолета, от V и H [1]. Как видно при увеличении скорости полета на заданной высоте потребная мощность сначала снижается, а затем увеличивается. Но с увеличением высоты потребная мощность для взлета также растёт. Причем на высоте 5 км, как видно из рисунка мощность от базовой (при $H = 0$ и $M = 0$) должна отличаться на почти 30 %. При этом надо отметить, что и мощность газотурбинного двигателя с увеличением высоты тоже падает и требуемого значения уже не дает. При этом если на небольшое время достаточное вертолету для набора скорости, а следовательно уменьшению уровня потребной мощности для полета двигатель форсировать, то появляется возможность перевоза большего объёма полезной нагрузки.

Располагаемая мощность двигателя в рассматриваемом диапазоне скоростей практически остается неизменной. Если мощность двигателя подбирается из условий взлета стандартных атмосферных условий при $H = 0$, то данная

мощность превышает требуемые значения для полета в заданном диапазоне скоростей на заданной высоте.

При этом двигатель необходимо дросселировать [2].

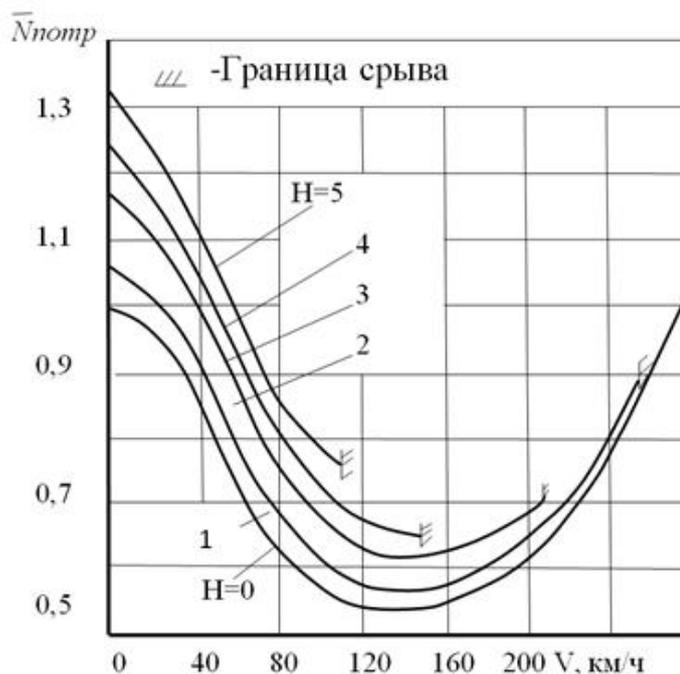


Рис. 1 – Пример зависимости потребляемой мощности вертолета от высоты и скорости полета

Режим наибольшей продолжительности полета соответствует условию минимальной потребляемой мощности. Это приводит к необходимости дросселирования двигателя и в общем уменьшения расхода топлива. Но чем большая степень дросселирования двигателя, тем больший удельный расход топлива. Эквивалентный расход топлива с увеличением степени дросселирования растёт. Уменьшение степени дросселирования двигателя на этапе продолжительного полета будет способствовать уменьшению расхода топлива в полете. Это можно достичь, обеспечив форсирование двигателя на этапе взлета с последующим переходом на не форсированный (штатный) режим работы двигателя.

Для форсирования двигателя предлагается обеспечить впрыск воды в камеру сгорания ГТД. Такие виды форсирования наземных газотурбинных двигателей ведутся для наземной техники, включая цикл STIG. Это приводит не только к увеличению мощности двигателя, но и увеличению его экономичности. Использование этого цикла на вертолетных ГТД не применимо по целому ряду причин.

Для оценки возможностей такого вида форсирования двигателей воспользуемся применением математической модели разработанной в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского "ХАИ" [3, 4]. Этот метод основан на решении системы уравнений невязок описывающей двигатель. Модель способна эмитировать различную высоту и скорость полета.

За базовый двигатель возьмём турбовальный двигатель с одновальным газогенератором и свободной турбиной близкий по параметрам к ТВ-3-117. Данный двигатель получил широкое распространение в гражданской и военной авиации и его модификации установлены на вертолетах таких как Ми-8 и Ми-24 и их модификациях. Также он применяется для самолета Ан-140.

В результате расчетов представлено изменение мощности двигателя от высоты полета. Проведен анализ необходимого количества воды впрыскиваемого в камеру сгорания для достижения мощности необходимой вертолету для взлета с висением.

Основные параметры двигателя, взятые за основу:

Степень повышения давления в компрессоре: $\pi_k^* = 9,4$.

Температура газов за камерой сгорания: $T_G^* = 1193$ К.

Расход воздуха на расчетном режиме ($M = 0, H = 0$): $G_B = 8,7$ кг/с.

Мощность двигателя: $N = 1618$ кВт.

Результаты расчета представлены в таблице:

Таблица

Зависимость количества воды для достижения необходимой мощности при различных высотах полета

Высота полета (км)	Мощность двигателя без впрыска воды	Потребная взлетная мощность вертолета с полной загрузкой	Количество воды для достижения мощности равной взлетной при $H=0$ и $M=0$ (кг/с) 1618 кВт	Количество воды необходимое для обеспечения потребной взлетной мощности (кг/с)
2	1380	1810	0,390	0,700
3	1290	1900	0,590	1,115
4	1200	1980	0,800	1,480

Из представленных результатов расчета видно, что применение в качестве средства для форсирования двигателей воды достаточно эффективно. При небольшом времени режима висения и разгона располагаемая мощность позволяет вертолету брать на борт значительно большую полезную нагрузку. Причем в процессе набора скорости объем впрыскиваемой воды можно уменьшать, т.к. потребная мощность будет падать. Хотя следует отметить, что с увеличением высоты объем необходимой для форсирования двигателя воды значительно растет.

Список литературы: 1. Михеев Р.А. Расчет вертолета на прочность. Ч. 1. / Р.А. Михеев. – М.: МАИ, 1973. – 270 с. 2. Проектирование тяжелых одновинтовых вертолетов и их трансмиссий: учебник. Ч. 1 / А.Г. Гребеников, А.М. Гуменный, А.И. Долматов и др. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “ХАИ”, 2007. – 331 с. 3. Математическое моделирование ГТД при исследовании их эксплуатационных характеристик: учеб. пособие / Г.В. Павленко. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1986. – 123 с. 4. Волов А.Г. Анализ термодинамических циклов газопаровых и парагазовых установок: сборник лабораторных работ / А.Г. Волов, Г.В. Павленко, А.С. Хоменко. – Харьков: Нац. аэрокосм, ун-т “ХАИ”, 2009. – 42 с.

COMPUTER MODELING IN SOLVING PACKING PROBLEM

Chugay A.M., Phd, Pankratov A.V., Doctor of Sc.,

Romanova T.E., Doctor of Sc.

*(Institute for Mechanical Engineering Problems,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine)*

В роботі розглядаються задачі оптимальної компоновки та представлені їх точні математичні моделі у вигляді безперервної задачі нелінійного програмування, використовуючи техніку РНІ-функції. Пропонується загальна стратегія розв'язання. Запропонований алгоритм оптимізації дозволяє отримати локально оптимальні компоновки для широкого кола практичних задач. Розроблено відповідне програмне забезпечення, включаючи спеціальний NLP-вирішувач для задач компоновки.

Ключові слова: *задача компоновки, безперервні повороти об'єктів, метод phi-функцій, математична модель, нелінійна оптимізація*

В работе рассматриваются задачи оптимальной компоновки и представлены их точные математические модели в виде непрерывной задачи нелинейного программирования, используя технику РНІ-функции. Предлагается общая стратегия. Предложенный подход к оптимизации позволяет получить локально оптимальные компоновки для широкого круга практических задач. Разработано соответствующее программное обеспечение, включая специальный NLP-решатель для задач компоновки.

Ключевые слова: *задача компоновки, непрерывные повороты объектов, метод phi-функций, математическая модель, нелинейная оптимизация*

We consider optimal layout problems and introduce its exact mathematical model in the form of a continuous nonlinear programming problem, using the phi-function technique. We propose a general solution strategy. Our efficient optimization algorithm allows us to get local-optimal layouts for wide spectrum of practical problems. We develop appropriate software, including special NLP-solver for layout problems.

Keywords: *layout problem, continuous object rotations, phi-function technique, mathematical model, nonlinear optimization*

Optimal packing problem is a part of operational research and computational geometry. It has multiple applications in modern biology, mineralogy, medicine, materials science, nanotechnology, robotics, coding, pattern recognition systems, control systems, space apparatus control systems, as well as in the chemical industry, power engineering, mechanical engineering, shipbuilding, aircraft construction, space engineering, logistics etc. At present, the interest in finding effective solutions for packing problems is growing rapidly. This is due to a large and growing number of applications and an extreme complexity of methods used to handle many of them.

These problems are NP-hard, and, as a result, solution methodologies generally employ heuristics [1]. Some researchers develop approaches based on mathematical modeling and general optimization procedures [2].

Our approach is based on mathematical modeling of relations between geometric objects and thus reducing the optimal layout problem to a nonlinear programming problem. We use special class of continuous functions (phi-functions, adjusted phi-functions, quasi-phi-functions, adjusted quasi-phi-functions) [3, 4] for an analytic de-

scription of relations of objects to be packed in a container taking into account their continuous rotations, translations and distance constraints.

To demonstrate high efficiency of our methodology we consider some practical layout problems for a collection of given 3D-objects (polyhedrons, spheres, ellipsoids, cylinders, cones and, so called, spherocylinders, spherocones) into a container (cuboid, sphere, cylinder) of minimal sizes.

We consider here a layout problem in the following setting. Let a collection of objects $T_i \subset R^d$, $i \in \{1, 2, \dots, n\} = I_n$, $d = 2, 3$, be given. And let Ω denote a container. Each of the sizes of Ω may be variable. We denote an objective function by F (e.g. an area, a volume or a metrical characteristic of Ω).

Optimal layout problem. Pack the collection of objects T_i , $i \in I_n$, into a given container Ω taking into account distance constraints, such that objective function F will reach its minimal value.

We assemble a complete set of variables for our optimization problem: vector u_Ω of variable sizes of container Ω ; vector u_i of variable placement parameters (translation vector and rotation angles) of object T_i , $i \in I_n$; vector τ of all additional variables, taken from quasi-phi-functions.

Thus, a vector of all our variables can be described as follows: $u = (u_\Omega, u_1, u_2, \dots, u_n, \tau) \in R^\sigma$, where R^σ denotes the σ -dimensional Euclidean space.

A mathematical model of the *optimal layout problem* may now be stated in the form:

$$\min F(u), \text{ s.t. } u \in W \subset R^\sigma \quad (1)$$

$$W = \{u \in R^\sigma : \Phi_{ij}(u) \geq 0, i < j \in I_n, \Phi_i(u) \geq 0, i \in I_n\}, \quad (2)$$

where $\Phi_{ij}(u)$ is a phi-function (an adjusted phi-function, a quasi-phi-function, an adjusted quasi-phi-function) derived for the pair of objects T_i and T_j (to hold the non-overlapping constraint), $\Phi_i(u)$ is a phi-function (adjusted phi-function, quasi-phi-function, adjusted quasi-phi-function) derived for objects T_i and $\Omega^* = R^d \setminus \text{int}\Omega$ (to hold the *containment* constraint).

Our problem (1)-(2) is NP-hard nonlinear programming problem with non-smooth functions. The feasible region W defined by (2) has a complicated structure: it is, in general, a disconnected set, each connected component of W is multiconnected, the frontier of W is usually made of nonlinear surfaces containing valleys, ravines. A matrix of the inequality system which specifies W is strongly sparse and has a block structure. The feasible region W is specified by a system of nonlinear inequalities with piecewise continuously differentiable functions, which involve operations of maximum and minimum of smooth functions. This means that the feasible region W can be represented as a finite union of sub-regions W_s , $s = 1, \dots, \eta$. Each sub-region W_s is described by a system of inequalities with smooth functions. Now we may reduce the problem (1)-(2) to the following optimization problem:

$$F(u^*) = \min \{F(u^{s*}), s = 1, \dots, \eta\}, \quad (3)$$

where

$$F(u^{s*}) = \min_{u \in W_s} F(u) \quad (4)$$

is a nonlinear programming problem with smooth functions.

Clearly, the global solution can be obtained and proved by inspecting and exactly solving all of the subproblems defined in (4) but that is an unrealistic task, because in fact we have to solve optimally all subproblems (4) of problem (3)-(4) to get global solution.

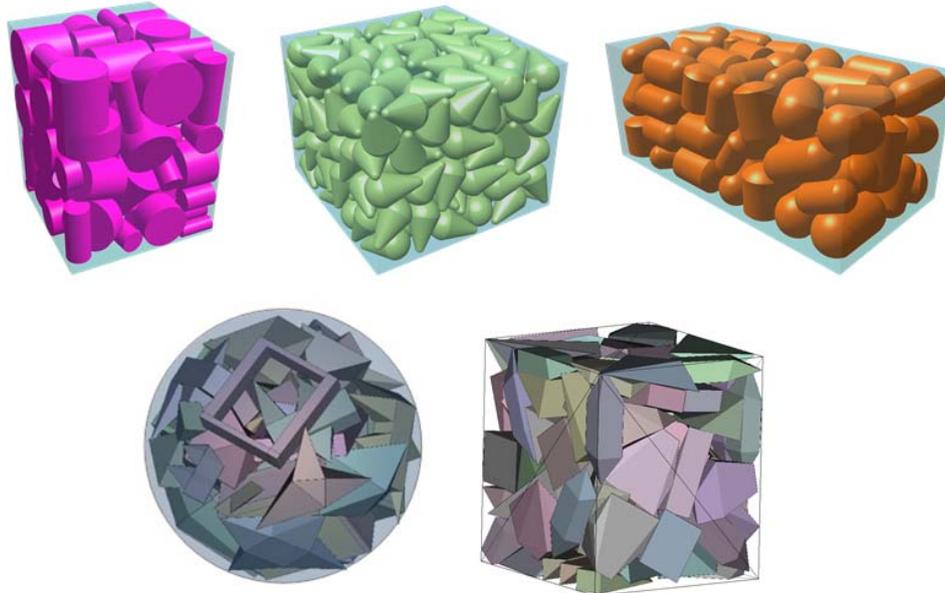


Fig.1 – Local optimal 3D-packings

Therefore, we propose an approach to get “good” local optimal solutions of problem (1)-(2) using a strategy, which employs the following optimization procedures: **1.** Generation of a starting point from the feasible region of the problem (1)-(2). To this aim we use the starting point algorithm, based on homothetic transformations of geometric objects. **2.** Search for a local minimum of the objective function $F(u)$ of problem (1)-(2) by means of the Local Optimization with Feasible Region Transformation (LOFRT) procedure. The LOFRT procedure considerably reduces the dimension of the optimal packing problem and the number of nonlinear inequalities in (4). **3.** Non-exhaustive search of local minima to get “good” local optimal solution of the problem (1)-(2).

We develop special solver for layout problems which uses the core representation of inequalities in a sybmol form and provides exact calculation of Jacobian and Hessian matrixes. The search for local minima of nonlinear programming problems is performed by IPOPT code (<https://projects.coin-or.org/Ipopt>).

Figure 1 illustrates local optimal packings of 3D-objects.

References: **1.** Korte A.C.J. Random packing of digitized particles / A.C.J. Korte, H.J.H. Brouwers // Powder Techn. – 2013. – № 233. – P.319–324. **2.** Fasano G.A. Global Optimization point of view for non-standard packing problems / G.A. Fasano// J.Glob. Optim.–2013.–55(2), P.279–299. **3.** Chernov N. Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem / Chernov N., Stoyan Y., Romanova T.// Comput. Geom.: Theory and Appl. – 2010. – № 43(5). – 535–553. **4.** Stoyan Y. Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses / Y. Stoyan, A. Pankratov, T. Romanova // Journal of Global Optimization.– 2016.– V.65(2). – P. 283–307.

ЧЕТВЕРТА ПРОБЛЕМА СПИСКУ ЕДМУНДА ЛАНДАУ ТА ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Сенчук В.Ф., канд. фіз.-мат. наук, доц.

(Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, Україна)

Розглядається оригінальний підхід до розв'язання задачі теорії чисел списку Едмунда Ландау, який у своєму виступі він запропонував на П'ятому Міжнародному математичному конгресі, що відбувся в 1912 році. Жодна із чотирьох задач списку Ландау досі повністю не розв'язана. Одна з проблем, четверта, така: чи нескінченна множина простих чисел вигляду $x^2 + 1$, де x – натуральне число? Проблема розв'язана за допомогою булевої алгебри послідовностей, розробленої автором.

Ключові слова: булева алгебра, діофантове рівняння, логічна операція, натуральне число, нумератор, послідовність, потужність, просте число, форма.

Рассматривается оригинальный подход к решению задачи теории чисел списка Эдмунда Ландау, который в своем выступлении он предложил на Пятом Международном математическом конгрессе, состоявшемся в 1912 году. Ни одна из четырех задач списка Ландау сих пор полностью не решена. Одна из них, четвертая, такова: бесконечно ли множество простых чисел вида $x^2 + 1$, где x – натуральное число? Проблема решена с помощью булевой алгебры последовательностей, разработанной автором.

Ключевые слова: булева алгебра, диофантово уравнение, логическая операция, натуральное число, нумератор, последовательность, мощность, простое число, форма.

An original approach to solve the problem of number theory of Edmund Landau's list is considered, which he proposed in his speech at the Fifth International Congress of Mathematicians, held in 1912. None of the four problems listed by Landau are fully resolved. One of those problems, the fourth one, formulated as follows: is set of prime numbers $x^2 + 1$ infinite, where x – natural number? This problem was solved by using Boolean algebra sequences developed by the author.

Keywords: Boolean algebra, Diophantine equations, logical operations, integer, numerator, consistency, power, prime number, form.

Зв'язок між формою $f = x^2 + 1$ і арифметичними прогресіями

При $x=1$ маємо єдине парне просте число – двійку. Непарні прості числа, якщо такі є, отримаємо при парних $x \in \mathbb{N}$, тому перейдемо до вивчення форми $f = 4x^2 + 1$. Перші вісім членів відповідної послідовності такі:

$$f = 4x^2 + 1 = (\underline{5} \quad \underline{12} \quad \underline{17} \quad 20 \quad \underline{37} \quad 28 \quad 65 \quad 36 \quad \underline{101} \quad 44 \quad 145 \quad 52 \quad \underline{197} \quad 60 \quad \underline{257} \quad 68 \dots), \quad (1)$$

де між елементами послідовності указані різниці між наступним і попереднім членами, а прості числа підкреслені.

Помічаємо, що різниці складають арифметичну прогресію з першим членом, рівним 12, і різницею, рівною восьми.

Візьмемо, наприклад, пару (37, 101), тоді загальний член відповідної арифметичної прогресії такий: $a_n = 37 + 64(n - 1) = 64n - 27$.

Далі знайдемо перетин форм f і a_n , тобто послідовність чисел форми f , які збігаються з елементами послідовності a_n , для чого розв'яжемо діофантове рівняння:

$$64n - 27 = 4x^2 + 1, \text{ або } 16n - 7 = x^2, \text{ або } n = (x^2 + 7)/16.$$

Встановимо значення x , яким відповідають натуральні значення n :

x	3	5	11	13	19	21	27	29	35	37	...
$d(x)$	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	...

Аналізуючи відрізок значень x за різницями $d(x)$, приходимо до висновку, що маємо узагальнену арифметичну прогресію [1] з періодом $T=2$ і різницею $D=8$.

Введемо в розгляд допоміжну змінну – натуральний параметр t – і виразимо через нього $x = x(t)$ за початковим відрізком послідовності:

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
x	3	5	11	13	19	21	27	29	35	37	...

Послідовність $x(t)$ є логічною сумою [2] двох арифметичних прогресій: $x_1(t) = (3, 11, 19, 27, 35, \dots)$; $x_2(t) = (5, 13, 21, 29, 37, \dots)$, а саме:

$$x_1(t) = 3 + 8(t-1) = 8t - 5; \quad x_2(t) = 5 + 8(t-1) = 8t - 3.$$

Знаходимо аналітичний опис $x(t)$ логічної суми $\sqcup x_1(t)$ і $x_2(t)$:

$$x(t) = x_1(t) \sqcup x_2(t) = 6t - 3 - 4[t/2], \quad [\bullet] - \text{ціла частина числа};$$

$$f(t) = 4(6t - 3 - 4[t/2])^2 + 1. \quad (2)$$

Покладемо а) $t = 2\tau - 1$, б) $t = 2\tau$, тоді форма f набуде відповідно вигляду:

$$\text{а) } (t = 2\tau - 1, u = \tau - 1) \Rightarrow a_n = f = 4(8\tau - 5)^2 + 1;$$

$$\text{б) } (t = 2\tau, u = \tau) \Rightarrow a_n = f = 4(8\tau - 3)^2 + 1. \quad (3)$$

Дослідження потужності множини простих чисел у формі $x^2 + 1$

Розглянемо послідовність $x = f(n)$, зліченна підмножина елементів якої володіє певною властивістю $P(n)$ (від англ. *property* – властивість). Наприклад, "бути парним числом", "бути простим числом", "належати множині простих чисел-близнюків" тощо. Коротко будемо говорити: "послідовність володіє властивістю $P(n)$ ", і писати: $x(n) | P(n)$, де символ "|" читається: "зі властивістю" або "володіє властивістю".

Нехай $v_1(n), v_2(n)$ – нумератори [], логічний добуток яких порожній: $v_1(n) \sqcap v_2(n) = s_\emptyset$, а образом логічної суми є універсум: $v_1(n) \sqcup v_2(n) = s_\circ = n$, тобто нумератори доповнюють один одного до універсума:

$$v_2(n) = s_\circ \mathbf{L} v_1(n) = \mathbf{\bar{\vee}} v_1(n), \quad \mathbf{L} - \text{символ логічної різниці};$$

$$v_1(n) = s_\circ \mathbf{L} v_2(n) = \mathbf{\bar{\vee}} v_2(n), \quad \mathbf{\bar{\vee}} - \text{символ логічного доповнення}. \quad (4)$$

Лема (про володіння властивістю $P(n)$). Якщо послідовність $x = f(n)$ володіє властивістю $P(n)$, а нумератори $v_1(n)$, $v_2(n)$ задовольняють умову (4), то принаймні одна з підпослідовностей $x_1(n) = (f \circ v_1)(n)$, $x_2(n) = (f \circ v_2)(n)$ володіє властивістю $P(n)$ і навпаки:

$$x(n) | P(n) \Leftrightarrow x_1(n) | P(n) \text{ або } x_2(n) | P(n). \quad (5)$$

Д о в е д е н н я. Необхідність (\Rightarrow). Припустимо, що жодна з композицій $f \circ v_1$, $f \circ v_2$ не володіє властивістю $P(n)$, тобто обидві підпослідовності містять скінченну множину елементів із властивістю $P(n)$. Тоді їх сума також буде скінченною множиною, а це не узгоджується з умовою леми $x(n) | P(n)$. Отже, припущення неправильне, тому справедливе співвідношення (5).

Достатність (\Leftarrow) доводиться дуже просто: якщо хоча б одна з підпослідовностей володіє властивістю $P(n)$, то сама послідовність не може нею не володіти. •

Для дослідження форми $f = 4x^2 + 1$ введемо в розгляд властивість:

$P(n)$ = "форма містить нескінченну підпослідовність простих чисел".

Теорема. (про потужність множини простих чисел форми f). Двочлен $4x^2 + 1$ описує нескінченну множину простих чисел.

Д о в е д е н н я. За теоремою Лежен-Діріхле [3], [4] послідовність із загальним членом $4k + 1$ містить нескінченну множину простих чисел, бо $(4, 1) = 1$. Окреме доведення цього твердження знаходимо у роботі [5].

За співвідношенням а) із (3) послідовність $a_n = f = 4(8\tau - 5)^2 + 1$ є підпослідовністю форми $4k + 1$ з небазисним нумератором $v_1 = (8\tau - 5)^2$, який водночас визначає і арифметичну прогресію, яка містить нескінченну множину простих чисел, адже $64n - 27 = 4x^2 + 1$.

Припустимо, що форма $f = 4v_1 + 1$ описує скінченну множину простих чисел. Тоді згідно з лемою доповнення нумератора $v_1 = v_1(\tau)$: $v_2(\tau) = \mathbb{1}v_1(\tau)$, повинне забезпечити володіння властивістю $P(n)$ форми $4k + 1$, що і приводить до висновку: форма $f = 4k^2 + 1$ містить зліченну множину простих чисел. • Такий самий висновок отримуємо, якщо відштовхуватись від другого співвідношення із (3): $a_n = f = 4(8\tau - 3)^2 + 1$.

Список літератури: 1. Сенчуков В. Ф. Логические свойства обобщенных арифметических прогрессий / В. Ф. Сенчуков // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1988. – №8. – С. 16–19. 2. Сенчуков В. Ф. Последовательностная модель булевой алгебры / В. Ф. Сенчуков // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1988. – №2. – С. 20–23. 3. Гельфонд А. О. Элементарные методы в аналитической теории чисел / А. О. Гельфонд, Ю. В. Линник. – М.: Физматгиз, 1962. – 272 с. 4. Серпинский В. Сто простых, но одновременно трудных вопросов арифметики / В. Серпинский; перевод с польского В. А. Голубева. – М.: Учпедгиз, 1961. – 76 с. 5. Серпинский В. Что мы знаем и чего не знаем о простых числах / В. Серпинский; перевод с польского И. Г. Мельникова. – М.-Л.: ГИФМЛ, 1963. – 92 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ ЯК ОСНОВА РОЗВИТКУ ТВОРЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ СТУДЕНТІВ

Спольнік О.І., докт. фіз.-мат. наук, проф.,
Гайдусь А.Ю., канд. техн. наук, доц., **Волчок І.В.**, канд. фіз.-мат. наук, доц.
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П.Василенка, Харків, Україна)

Розглянуто роль та важливість експерименту в навчанні фізики. Вплив експерименту на процеси глибшого та всебічного засвоєння програмного матеріалу.

Ключові слова: навчальний процес, фізика, експеримент.

Рассмотрена роль и важность эксперимента в обучении физике. Влияние экспериментов на процессы глубокого и всестороннего усвоения программного материала.

Ключевые слова: учебный процесс, физика, эксперимент.

The role and importance of an experiment in learning of physics. Effect experiment on the processes of assimilation deeper and comprehensive program material.

Keywords: learning process, physics, experiment.

Вступ. У час науково-технічного прогресу й переходу до нового змісту освіти помітно зростає роль експерименту в навчанні фізики. Система демонстраційних, фронтальних і домашніх дослідів, експериментальних задач, фронтальних лабораторних робіт та фізичного практикуму сприяє глибшому й усебічному засвоєнню програмного матеріалу, допомагає студентам ознайомитись з принципами вимірювання фізичних величин, оволодіти способами і технікою вимірювань, а також методами аналізу похибок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За думкою багатьох вчених [1-3] експериментальні задачі є одним із різновидів впровадження фізичного експерименту при вивченні фізики. Без фізичного експерименту курс вивчення фізики втрачає свою основну привабливість, яка полягає в тому, що студент має змогу сам переконатися в істинності існуючих тверджень, "доторкнутись" до приладів, здивуватись побаченому, замислитись над ним. Залучення студентів до систематичного виконання експериментальних задач дозволяє сформувати в них такі експериментальні вміння, як уміння спостерігати, уміння користуватися вимірювальними приладами, уміння виконувати досліди [4].

Ставлення та визначення мети статті. Знати роль і місце експериментальних задач у навчальному процесі з фізики, вивчити методику постановки та розв'язування їх, оволодіти методами і прийомами розвитку творчих здібностей студентів у процесі розв'язування експериментальних задач.

Виклад основного матеріалу. У процесі навчання фізики особливе місце займають експериментальні задачі [5]. До них належать задачі, постановка і розв'язування яких органічно пов'язані з експериментом, а також з різноманітними вимірюваннями, спостереженнями за фізичними процесами, складанням і дослідженням різноманітних установок, пристроїв тощо [6, 7]. Основною озна-

кою експериментальної задачі є наявність не просто експерименту, виконаного в зв'язку з її розв'язуванням, а неможливість постановки задачі або здійснення її розв'язку без експерименту. Переваги експериментальних задач:

1. Як і будь-який експеримент, експериментальні задачі значною мірою сприяють підвищенню пізнавальної активності студентів, розвитку інтересу до науки, логічного мислення, навчають аналізувати явища, змушують думати і діяти, ґрунтуючись на теоретичних знаннях та практичних уміннях і навичках.

2. Експериментальні задачі є одним з ефективних засобів реалізації теоретичних знань на практиці, важливість і необхідність вивчення фізики.

3. Експериментальні задачі розширюють можливості ознайомлення студентів з особливостями експериментального методу дослідження явищ навколишнього світу, готують їх до проведення досліджень різного характеру.

4. Систематичне і послідовне використання експериментальних задач у системі навчання фізики сприяє формуванню наукового світогляду студентів, їхнього діалектичного і фізичного мислення.

5. Самостійне розв'язування експериментальних задач студентами розвиває їхню активність у здобуванні знань, набуванні умінь і навичок, їхні творчі здібності.

6. Розв'язування й аналіз експериментальних задач виховують в студентів критичне ставлення до результатів вимірювань, звичку звертати увагу на умови виконання досліду.

7. Експериментальні задачі допомагають студентам у формуванні умінь розв'язувати задачі на обчислення. Розв'язування задач на обчислення іноді зводиться просто до підстановки даних до відповідних формул, задачі розв'язуються без глибокого аналізу фізичної суті. Експериментальні задачі, як правило, не мають усіх даних, потрібних для розв'язування. Тому необхідно глибоко аналізувати фізичний зміст задач, встановлювати послідовність і методику виконання експерименту, а також використовувати необхідні закономірності.

8. Систематичне та обґрунтоване з погляду методики використання експериментальних задач формує у студентів потребу в самостійних дослідженнях як теоретичних проблем, так і суто практичних.

Експериментальні задачі можна поділити на якісні та кількісні. До якісних належать такі експериментальні задачі, які ставляться з використанням певних фізичних приладів чи установок і не потребують для свого розв'язування кількісних даних і математичних розрахунків [7].

Кількісними експериментальними задачами вважають такі, розв'язування яких здійснюється за допомогою математичної обробки даних, знайдених експериментально у процесі розв'язання, тобто уже після того, як задачу було поставлено. Останнє зауваження досить суттєве, оскільки розв'язування експериментальної задачі починається з планування експерименту, який ставлять, щоб мати кількісні дані, потрібні для розв'язування задачі. Цим відрізняється експериментальна задача від кількісної текстової, що особливо важливо з точки зору розвитку творчих здібностей студентів.

Якщо у процесі вивчення певних питань використовується система експериментальних задач, то дані однієї задачі, безумовно, можна використати і в

процесі розв'язування інших задач. Експериментальні задачі можуть бути поставлені на будь-якому етапі рішення, але при цьому змінюються дидактичні функції задач, методика постановки та розв'язування їх.

Здійснюючи постановку експериментальної задачі у процесі пояснення нового матеріалу, треба пам'ятати, що основною метою є зміст нової інформації, а задача є способом досягнення цієї мети.

Методика розв'язання експериментальних задач має свої особливості, оскільки для розв'язання їх потрібно не лише скласти план, а й визначити способи відшукування певних даних, самостійно скласти установку, відібрати, а іноді й сконструювати необхідні прилади та установки.

Розв'язання експериментальної задачі поділяють на 4 етапи:

- усвідомлення умови задачі;
- складання плану розв'язання;
- реалізація плану;
- дослідження відповіді.

Перший етап передбачає ознайомлення з умовою задачі, в якій є твердження та вимоги, а також перелік приладів і матеріалів, потрібних для експерименту, оцінку фізичної ситуації за умовою. На другому етапі теоретично розробляють шлях пошуків від відомого до шуканого, намічають порядок виконання дослідів та матеріальне забезпечення їх.

Третій етап - це безпосереднє виконання дослідів, в результаті яких дістають необхідні дані, що використовуються для одержання відповіді.

На четвертому етапі перевіряють правильність відповіді, аналізують хід експерименту, розглядають можливі варіанти, а також показують, де на практиці використовується це явище.

Висновки. Постановку експериментальних задач, на наш погляд, необхідно робити в процесі викладу нового матеріалу, тобто коли зміст експериментальної задачі органічно входить до теми занять. Використання експериментальних задач при формуванні нових понять, встановлення певних залежностей і закономірностей конкретизує навчальний матеріал, сприяє більш свідомому та глибокому його розумінню та засвоєнню.

Актуальні напрями подальшої розробки проблеми. Розв'язання експериментальних задач потребує ретельної та різнобічної підготовки. Експеримент, що ставиться у процесі розв'язання цього типу задач, повинен задовольняти всі вимоги, що ставляться до навчального фізичного експерименту.

Список літератури: 1. Шарко В.Д. Сучасний урок фізики / В.Д. Шарко. – К., 2005. – 231 с. 2. Бугаєв А.И. Методика преподавания физики в средней школе / А.И. Бугаев. – М.: Просвещение, 1981. – 481 с. 3. Гайдучок Г.М. Фронтальный эксперимент з фізики в 7-11 класах середньої школи / Г.М., Гайдучок, В.Г. Нижник. – К.: Радянська школа, 1989. – 152 с. 4. Ивах І.В. Методика розв'язування задач з фізики / І.В. Ивах. – К.: Радянська школа, 1966. – 276 с. 5. Ланге В. Н. Экспериментальные физические задачи на смекалку / В. Н. Ланге. – М.: Наука, 1985. – 128 с. 6. Терентьев М.М. Демонстрационный эксперимент по физике в проблемном обучении / М.М. Терентьев. – М.: Просвещение, 1978. – 104 с. 7. Жерехов Г. И. Домашние экспериментальные задания с политехническим содержанием / Г. И. Жерехов // Физика в школе. – 1979. – № 5. – С. 48–51.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Спольник А.И., докт. физ.-мат. наук, проф., Прихода М.А., ассистент,

Гайдусь А.Ю., канд. техн. наук, доц., Калиберда Л.М., доц.

(Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. Петра Василенко, Харьков, Украина)

В статье рассмотрены возможности информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) для улучшения качества преподавания курса физики в системе дистанционного образования. Показано, что применение ИКТ существенно повышает интерес студентов к изучению физики в вузе и способствует повышению качества подготовки будущих специалистов.

Ключевые слова: *информационные и коммуникационные технологии, система дистанционного образования, качество подготовки будущих специалистов*

В статті розглянуті можливості інформаційних і комунікаційних технологій (ІКТ) для покращення якості викладання курсу фізики в системі дистанційної освіти. Показано, що застосування ІКТ істотно підвищує інтерес студентів до вивчення фізики у вузі та сприяє підвищенню якості підготовки майбутніх спеціалістів.

Ключові слова: *інформаційні та комунікаційні технології, система дистанційної освіти, якість підготовки майбутніх фахівців*

In the article described possibilities of information and communication technologies (ICT) to improve the quality of teaching of physics in the system of remote education. It is shown that the use of ICT significantly increases the students interest to study physics at university and improves the quality of training of future specialists.

Keywords: *Clearing and kommunykatsyonnye technology, Remote Education System, Quality Preparation of future professionals*

Информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) в настоящее время активно используются как для передачи информации, так и для обеспечения взаимодействия преподавателя и студента (ученика) в системе очного и заочного дистанционного образования (СДО). СДО все чаще используется в ВУЗах, постепенно вытесняя классическую заочную форму образования.

Применение ИКТ в системе дистанционного образования позволяет достаточно просто решать задачи связанные с информационным поиском и получением справочного материала. Т.е. позволяет получать обучаемому необходимые сведения, формировать умения и навыки по систематизации информации. При изучении в СДО такого предмета, как физика, возникает проблема доступа к реальному оборудованию (лабораторному практикуму). Компромиссным решением этой проблемы является применение средств ИКТ для виртуализации физических процессов и явлений с целью их исследования и изучения, т.е. для создания виртуальной лаборатории. В виртуальной лаборатории студенту представляется возможность использовать компьютер как обычный электронный прибор, а при использовании соответствующего графического интерфейса вид этого прибора будет соответствовать реальному лабораторному прибору.

В СДО доступ к ресурсам виртуальной лаборатории, как правило, предоставляется через Интернет. Оптимальным решением для создания лабораторных практикумов удаленного доступа является графическая программная технология, реализованная в среде программирования Lab VIEW[1,2]. Преимущество использования Lab VIEW – возможность создавать графические программы (виртуальные приборы) вместо написания текстовых программ. Кроме того в этой среде реализуются широкие возможности для обмена данными на основе WEB-сервера и инструмента WEB Publishing Tool. Использование такой ИКТ предоставляет следующие возможности работы в удаленном режиме:

- Мониторинг процессов, происходящих в лаборатории, с обратной связью, т.е. возможностью вмешиваться в управление процессом.
- Дистанционное управление, т.е. возможность изменять данные, управлять процессами, отправлять сообщения.
- Одновременная работа нескольких пользователей с одним виртуальным прибором.

Данные эксперимента студент получает в режиме реального времени на лицевой панели виртуального прибора, который может находиться на любом удалении от места проведения эксперимента. В то же время не следует пренебрегать методами имитационного моделирования физических процессов. Наиболее информативными и хорошо воспринимаемыми студентами могут быть такие лабораторные работы, как моделирование механических и электромагнитных колебаний. Наглядно может выглядеть картина упругой и пластической деформации кристалла (диаграмма процесса).

Очень хорошо воспринимают студенты моделирование электрических схем, позволяющих изучать законы Ома и Кирхгофа, где задаются направления токов в разветвленных цепях, подбираются параметры для оптимальной работы электрических схем.

Лабораторная работа по изучению скорости звука методом стоячих волн позволяет изменять длину звуковой волны и с высокой точностью определять скорость звука в различных средах.

Студентам хорошо знакомы петли гистерезиса при изучении сегнетоэлектриков и ферромагнетиков. Исследуя жесткость различных магнетиков, студенты могут выбирать области их применения.

Моделирующая программа состоит из обучающего и контролирующего блоков. Обучающий блок содержит теоретический материал по данной теме. Методом мультипликации визуализируется изучаемый процесс. После ознакомления с моделью студент “входит” в контролирующий блок, который, в свою очередь, состоит из двух уровней. Первый уровень - непосредственно выполнение лабораторной работы, и второй - защита работы.

На основании нашего опыта можно сделать заключение о том, что визуализация объектов обеспечивает освоение обучающимися в СДО таких новых технологических компетенций, как когнитивное структурирование содержания знаний, когнитивное моделирование элементов структуры деятельности и процессов взаимодействия объектов, конструирование новых мыслеобразов и новых визуальных форм, необходимых для изучения и понимания физических яв-

лений и законов. Благодаря смещению репродуктивного обучения в сторону обучения на основе визуально моделирующей деятельности, включающей рефлексии, самоконтроль со стороны обучающегося за собственными действиями, происходит осознание им целей и технологий своей деятельности [3]. Таким образом, практика подтверждает, что визуализация является движущей силой, фактически выводящей студентов из обезличенного режима обучения.

Следует отметить, что трудности и проблемы СДО являются незначительными по сравнению с их очевидными преимуществами. При этом СДО, несомненно, не должно вытеснять классические методы преподавания, а в сочетании с последними улучшать качество специалистов, их творческие способности и интерес к регулярному обучению, что так необходимо в современных условиях на рынке труда.

Список литературы: 1. *John Essick Hands-On Introduction to LabVIEW for Scientists and Engineers* (3rd ed.). - Oxford University Press, 2015. – 688 p. 2. *Ronald W. Larsen LabVIEW for Engineers* (1st ed.) - Pearson, 2010. – 352 p. 3. *Загвязинский В.И.* Теория обучения. Современная интерпретация / *В.И. Загвязинский.* – М., 2004. – С. 74-94.

УДК 378.147

ШЛЯХИ ВИРШЕННЯ ПРОБЛЕМ ВИКЛАДАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ

Спольнік О.І., докт. фіз.-мат. наук, проф.,
Волчок І.В., канд. фіз.-мат. наук, **Гайдусь А.Ю.**, канд. техн. наук,
Каліберда Л.М., доц., **Прихода М.О.**, асистент
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Харків, Україна)

Розглянуто переваги та труднощі дистанційного навчання в порівнянні з класичними методами викладання природничих наук, а саме проблеми викладання курсу загальної фізики в системі дистанційного навчання.

Ключові слова: система дистанційного навчання (СДН), комп'ютерні і інтернет-технології навчання, загальна фізика.

Рассмотрены преимущества и трудности дистанционного обучения в сравнении с классическими методами преподавания естественных наук, а именно проблемы преподавания курса общей физики в системе дистанционного обучения.

Ключевые слова: система дистанционного обучения (СДО), компьютерные и интернет-технологии обучения, общая физика.

The advantages of distance learning difficulties in comparison with the classical methods of teaching natural sciences, namely the problems of teaching general physics course in distance learning system.

Keywords: Distance Learning System (DLS), computer and internet technology training, general physics.

Постановка проблеми. СДН за своєю формою займає проміжне положення між очною і заочною формами навчання і є новим методичним прийомом викладання природничих дисциплін. За специфікою СДН пов'язано ряд про-

блем, без вирішення яких утруднено якісне використання цієї форми навчання. Зокрема, однією з таких проблем, що стосуються викладання загальної фізики, є відсутність доступу до лабораторної бази вищого начального закладу (ВНЗ). Це при тому, що виконання лабораторних робіт є найважливішою складовою навчального процесу, без якої неможливе отримання глибоких знань з фізики.

Аналіз останніх досліджень. Більшість проблем, пов'язаних з дистанційністю викладання, частково вирішені, але потребують додаткової оптимізації. Відсутність доступу до лабораторної бази ВНЗ і в теперішній час є важливою проблемою при використанні дистанційної форми викладання загальної фізики.

Метою статті є узагальнення найбільш характерних для дистанційної форми навчання проблем і запропонування шляхів їх вирішення.

В даний час все більш доцільною стає система дистанційного навчання (СДН), яка об'єднує в собі комп'ютерні і інтернет-технології навчання та є сполучною ланкою між викладачем і студентом. Важливо підкреслити, що СДН є найбільш демократичною освітою, що дозволяє усім тим, хто хоче вчитися, дістати доступ до деякого навчально-методичного масиву інформації. При цьому за допомогою СДН можна навчати будь-якого охочого – немає вікових, освітніх, територіальних обмежень. Особливо слід виділити студентів ВНЗ, що проживають у віддалених районах. Для них навіть традиційна заочна форма навчання пов'язана з поїздками в університетське місто, побутовими і фінансовими незручностями. СДН допомагає навчатися і тим, хто тимчасово або постійно за станом здоров'я або за сімейними обставинами не має можливості регулярно відвідувати заняття. Система дозволяє студентам набувати нових необхідних навиків і знань за допомогою персонального комп'ютера і виходу в мережу Інтернет. При цьому круг предметів, які можна вивчати за допомогою СДН, практично такий же, який охоплює традиційна система навчання.

Щільний графік аудиторного навантаження, велика кількість годин, відведених для самостійної роботи, передбачені рекомендаціями Болонського процесу [1], дозволяють як студентам, так і викладачам реалізовувати технологію навчання і вивчення матеріалу за допомогою СДН [2] за зручним для кожного графіком, в регульованому темпі. Характерним для ХНТУСГ є те, що університет має багато корпусів і студентських гуртожитків, віддалених один від одного територіально. У цих умовах, безперечно, добре налагоджена робота відповідної комп'ютерної локальної мережі супроводить ефективність освітнього процесу.

При контролі знань важливо відзначити, що при СДН виключаються чинники суб'єктивності викладача, підвищеного хвилювання студента при здачі контрольного завдання, знімається психологічний чинник самопорівняння з іншими студентами, що через об'єктивні причини має місце при традиційних методах контролю. СДН дозволяє підвищувати ефективність навчального процесу за рахунок залучення до самостійної роботи кожного студента. Викладач одержує більше можливостей для спостереження за ходом освоєння лекційного курсу і застосуванням отриманих знань при розв'язанні задач з фізики.

Специфіка СДН потребує звернути увагу на те, що:

- підвищується ступінь відповідальності ВНЗ за якість фахівця, що випускається;

- процес дистанційного навчання відбувається без особистого контакту між студентом і викладачем;
- необхідно мати велику базу даних інформаційної підтримки (електронні підручники основної і додаткової літератури);
- студенту потрібно мати можливість самоперевірки знань з матеріалу, що вивчається.

Важливо відмітити, що уникнути деяких проблем допомагає чітка структуризація всього матеріалу, представленого на сайті університету.

Специфіка СДН з фізики має достатньо трудомістке і до кінця ще не вирішене завдання реалізації такої форми навчання, як лабораторні практикуми. Авторами пропонується застосовувати комп'ютерне моделювання фізичних процесів, яке повинно замінити реальний фізичний експеримент [3].

Найбільш інформативними і добре сприйнятими студентами можуть бути такі лабораторні роботи, як моделювання механічних і електромагнітних коливань. Наочно може виглядати картина пружної і пластичної деформації кристала (діаграма процесу). Вивчення явищ переносу, наприклад в'язкості, за допомогою СДН дозволяє ознайомитись з температурною залежністю в'язкості технічних масел, які використовуються в двигунах машин, що важливо для наступного вивчення властивостей паливно-мастильних матеріалів. Дуже добре сприймають студенти моделювання електричних схем, що дозволяють вивчати закони Ома і Кірхгофа, де моделюються напрями струмів в розгалужених ланцюгах, підбираються параметри для оптимальної роботи електричних схем. Лабораторна робота по вивченню швидкості звуку методом стоячих хвиль дозволяє змінювати довжину звукової хвилі і з високою точністю визначати швидкість звуку в різних середовищах. Студентам добре знайомі петлі гістерезису при вивченні сегнетоелектриків і феромагнетиків. Досліджуючи жорсткість різних магнетиків, студенти можуть вибрати область їх застосування в техніці.

Список цих робіт можна продовжувати, але ми вважаємо найбільш ефективним дублювати лабораторні роботи, модельовані для СДН з лабораторними роботами, що виконуються в реальній фізичній лабораторії, що, безумовно, сприятиме кращому засвоєнню матеріалу і розвитку інтересу студентів до виконання експерименту власноручно, в співдружності з колегами – студентами і консультантом – викладачем.

Висновки. Слід зазначити, що труднощі і проблеми СДН є незначними в порівнянні з їх очевидними перевагами. При цьому СДН, поза сумнівом, не повинно витісняти класичні методи викладання, а у поєднанні з останніми покращувати якість фахівців, їх творчі здібності і інтерес до регулярного навчання, що так необхідно в сучасних умовах на ринку праці.

Список літератури: 1. *Беренштейн Л.Ю.* Суть та етапи впровадження принципів Болонського процесу у вищих навчальних закладах сучасної України: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції // *Л.Ю. Беренштейн* (21 квітня 2005 р.). – Національний аграрний університет. Ч.1 – К.: НАУ, 2005. – С. 28-34. 2. Дистанционное обучение: Учеб. пособие / Под ред. *Е. С. Полат.* М.: ВЛАДОС, 1998. 3. *Підкасистый П.И., Тыщенко О.Б.* Компьютерные технологии в системе дистанционного обучения // Педагогика. – 2000. – №5. – С. 7–12.

ТЕХНОЛОГІЯ ЦИКЛІЧНОГО ТЕСТУВАННЯ - ІНСТРУМЕНТАРІЙ КОМПЕТЕНТІСНОЇ ПАРАДИГМИ

Дженюк А.В., доц.

(Національний технічний університет «ХПИ», Харків, Україна)

Розглянуто аспекти технології циклічного тестування в контексті діагностики знаннєвої та компетентнісної складових навчання. Показано, що цей метод дає більш широкі можливості для якісного контролю знань, а також дозволяє визначити відносний рівень мотивації до навчання.

Ключові слова: освіта, навчання, методи контролю, тестування, оцінювання, мотивація

Рассмотрены аспекты технологии циклического тестирования в контексте диагностики знаниевой и компетентностной составляющих обучения. Показано, что этот метод дает более широкие возможности для качественного контроля знаний, а также позволяет определить относительный уровень мотивации к обучению.

Ключевые слова: образование, обучение, методы контроля, тестирование, оценивание, мотивация

The article discussed aspects of the cyclic testing technology in the context of diagnostics knowledge and competence components of education. It is shown this method gives more possibilities for qualitative control of know-ledge as well as to determines the relative level of motivation to learn.

Key words: education, training, control methods, testing, evaluation, motivation.

Інтеграція України в європейський і світовий освітній та інформаційний простір ставить перед вітчизняною вищою освітою комплексну задачу вдосконалення якості навчання, поновлення педагогічних методик і технологій, а також способів контролю ефективності навчання [5, с. 5], важливість і актуальність якої підтверджена декількома державними актами і програмами [7, 8].

Підготовка сучасних фахівців передбачає формування міцної теоретичної бази знань, широкого спектра практичних умінь і навичок, необхідних у майбутній професії. При цьому неможливо домогтися ефективності навчання тільки шляхом удосконалення методики навчального процесу, не звертаючи уваги на мотивацію навчально-професійної діяльності студентів. Мотивація навчально-професійної діяльності майбутніх фахівців і проблеми її формування є найменш вивченими питаннями організації навчального процесу вищої школи. У сучасному освітньому просторі все більше уваги приділяється розробці тестових методик, особливе місце яких обумовлено їх об'єктивністю внаслідок відсутності суб'єктивного фактора, технологічністю. З іншого боку, в педагогічній літературі часто зустрічаються закиди щодо недостатньої наукової обґрунтованості складання тестів, вказується на констатуючий характер їх результатів, вказується, що тест не розкриває процес виконання завдання, виявляючи лише остаточний результат [1, с. 231-232; 6, с. 83]. Визначення ж рівня мотивації до навчання взагалі лежить за межами можливостей стандартних тестових технологій.

Недоліки тестових технологій пов'язані зі складністю тестування творчих складових особистості, умінь вирішувати творчі завдання або стандартні завдання нестандартними методами, в той час як обидві складові необхідні і доповнюють один одного: потрібно вміти вирішувати широке коло стандартних завдань, які є основами компетентності фахівця і вміти творчо застосовувати їх для прийняття адекватних рішень в стандартних і нестандартних життєвих ситуаціях. Без знань і вміння рішення стандартних завдань немає фундаменту для застосування творчих складових особистості. Тому не слід протиставляти тестові технології компетентнісної парадигмі навчання – вони доповнюють її, дозволяючи з високою точністю і швидкістю відстежувати знаннєву компоненту навчання – як індикатор успішності формування знаннєвої складової навчального процесу, без якої компетентнісний підхід стає безпідставним [6, с. 67].

Розроблена нами технологія циклічного тестування деякою мірою позбавлена основних недоліків стандартних тестів і дозволяє оцінити не тільки рівень навченості, але і здатність до навчання, а також наблизити відмітку випробуваного до оцінки його діяльності [9]. Крім того, технологія дозволяє визначити порівняльний рівень мотивації студентів до навчання, що робить можливим організацію диференційованого підходу як в індивідуальній, так і в груповій роботі викладача.

Технологія циклічного тестування базується на суто комп'ютерній особливості механізму пред'явлення тестової послідовності надати можливість опитуваному виправити випадкові помилки, проявити власні здібності в процесі усвідомленого виправлення помилок нетвердого знання і пам'ять в процесі виправлення помилок незнання.

Запропонована технологія полягає в наступному. Опитування проводиться у вигляді закритого тесту з декількома десятками питань. При проходженні тесту студент отримує інформацію про невірні відповіді. Після відповідей на всі питання тесту (пред'явлення з номером N) фіксується кількість помилок m , і час t , витрачений для проходження послідовності тестових питань. Відразу після цього студенту знову пропонується той же тестовий блок, зі зміненою послідовністю питань і варіантів відповідей. Процедура повторюється, поки вся послідовність тестових завдань не буде пройдена безпомилково. Сукупність пред'явлень від $N = 0$ до $N = N_{\infty}$ (номер пред'явлення, при якому вся задача виконана без помилок) будемо називати серією. Залежність кількості помилок m від номера пред'явлення N в серії добре апроксимується експонентою з високими коефіцієнтами достовірності [3].

Діагностична функція тестового контролю знань реалізується на підставі кількісних характеристик, отриманих після обробки результатів кожного опитуваного.

Оцінка за результатами проходу опитуваним серії формується на підставі розрахунку кількості тестових балів R за формулою:

$$R = Q - m_0 \times \left(1 - \frac{2}{N_{\infty}} \right),$$

де Q – кількість тестових завдань; m_0 – кількість помилкових відповідей в першому проході; N_∞ – кількість проходів до безпомилкового результату.

Очевидно, що кількість балів залежить не тільки від кількості неправильних відповідей на питання тесту, але і від «швидкості» їх свідомого виправлення, що дозволяє враховувати можливості випробуваного і включити у відмітку за результатами тестування елемент оцінки його діяльності.

Навчальна функція реалізується за рахунок багаторазового проходження тестової послідовності кожним з респондентів до безпомилкового результату. Той факт, що студент при відповіді на питання тесту неодноразово повторює пройдений матеріал і краще закріплює отримані знання, є перевагою саме циклічного тестування.

Організуюча функція педагогічного контролю проявляється в його впливі на організацію навчального процесу. Залежно від результатів контролю викладач вносить відповідні зміни в навчальний процес, які реалізуються в нових підходах, формах, методах і дидактичних засобах навчання.

На підставі статистичного аналізу результатів циклічного тестування з'являється можливість з високою достовірністю визначити ті питання з тестової послідовності, які викликали найбільші труднощі у групи опитуваних; на підставі аналізу їх змісту виділити «складні» для опитуваних теми, і звернути на них особливу увагу в рамках лекційних, практичних або лабораторних занять [9].

Розглядаючи **виховну** функцію тестування, відзначимо, що в результаті циклічної технології студент чіткіше усвідомлює прогалини в своїх знаннях (про них говорять питання тесту, при відповідях на які він систематично помилявся); зміцнює свої знання, з'ясовуючи відповіді в яких він сумнівався; збільшує обсяг знань, з'ясовуючи і запам'ятовуючи відповіді на питання, які раніше були йому невідомі. Також, стимулюючим фактором є усвідомлення можливості поліпшити свою оцінку.

Експерименти по визначенню відносного рівня мотивації студентів проводилися на основі модульних контролів протягом двосеместрового курсу фізичної хімії. У кожному семестрі передбачені по два теоретичних модуля, які проводилися за методикою циклічного тестування. Мірою рівня мотивації може служити сукупність двох параметрів: кількість помилок в першому проході тесту m_0 – як характеристика рівня підготовки студента до модульного контролю і кількість проходів тесту до безпомилкового результату N_∞ – як характеристика здатності усвідомлювати і виправляти помилки.

Таким чином, найбільш вмотивованим можна вважати студента, який допустив мінімальну кількість помилок в першому пред'явленні тесту і виправив їх за мінімальну кількість проходів. За результатами тестування можна відзначити два примітних моменти: одні й ті ж студенти (близько 30%) протягом усього періоду навчання зберігали відносно високий рівень мотивації; кількість студентів, які показали $N_\infty < 4$ (без можливості апроксимації залежності $m = f(N)$ експоненційною кривою) збільшилася від 1 в першому модулі до 7 в останньому [4].

Висновки. Тестування по циклічній технології дозволяє, з одного боку, більш адекватно оцінити знаннєву компоненту навчання, з іншого – провести моніторинг складових компетентнісної компоненти – здатність до навчання, відносний рівень мотивації. Також, технологія дає можливість навіть при малій вибірці отримати статистично більш достовірну інформацію при аналізі результатів тестування з метою оптимізації навчального процесу, що дозволяє ефективніше планувати спільну діяльність викладача і студента. Результати діагностики покликані сприяти індивідуальному підходу при знаходженні адекватних методів і технологій здійснення коригувального психолого-педагогічного впливу на майбутніх фахівців.

Список літератури: 1. Вітвицька С.С. Основи педагогіки вищої школи: Підручник за модульно-рейтинговою системою навчання для студентів магістратури / С.С. Вітвицька. – Київ : Центр навчальної літератури, 2006. – 384 с. 2. Дженюк А.В. Експериментальне дослідження кінетики індивідуального навчання / А.В. Дженюк // Наукові записки Харківського військового університету «Соціальна філософія, педагогіка, психологія». – Вип. XIV. – Харків, 2002. – С. 138-145. 3. Дженюк А.В. Циклічне тестування як метод педагогічної діагностики // "Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, педагогіка, психологія" / А.В. Дженюк. – 2006. – №3. – с. 78 – 89. 4. Дженюк А.В. Мотиваційна індивідуалізація підходу к подготовке будучих електрохіміків / А.В. Дженюк // Сучасні проблеми електрохімії: освіта, наука, виробництво: збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – С. 175-176. 5. Ляшенко О.І. Тестові технології і моніторинг у системі освіти України: стан і перспективи розвитку / О.І. Ляшенко, С.А. Раков // Вісник ТІМО. – 2008. – № 11-12. – С. 68-70. 6. Модернізація вищої освіти України і Болонський процес. Матеріали до першої лекції / М.Ф. Степко, Я.Я. Болюбаш, К.М. Левківський, Ю.В. Сухарніков [відп. ред. М.Ф. Степко]. – К., : Вид. МОНУ, 2004. – 24 с. 7. Постанова Кабінету міністрів України № 1095 «Деякі питання запровадження зовнішнього незалежного оцінювання та моніторингу якості освіти від 25 серпня 2004 р. із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 1312 від 31 грудня 2005 р. / Урядовий кур'єр від 29.03.2006 № 59. 8. Указ Президента України № 347 «Про національну доктрину розвитку освіти» від 17.04.2002. / Офіційний вісник України від 03.05.2002 р., № 16. 9. Bondarenko V.V, Dzheniuk A.V. Cyclic testing technology as improvement of testing techniques // Nauka i Studia, Przemysl, Poland, – 2014. – №12(122). – р. 34-41.

КАФЕДРА ПРИРОДНИЧИХ НАУК ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ЕКОНОМІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

Кафедра природничих наук та технології є найстарішою кафедрою Харківського національного економічного університету імені Семе́на Кузне́ця. Вона була створена в 1930 році як кафедра технології машинобудування Харківського інженерно-економічного інституту з метою забезпечення технологічної підготовки інженерів-економістів в галузі машинобудування. У післявоєнний час (1948 р.) кафедра була відновлена й оснащена всім необхідним устаткуванням, включаючи металорізальні верстати, ковальсько-пресове, зварювальне та інше обладнання, а також всі необхідні контрольні-вимірні прилади та макети. На кафедрі було створено дві учбові лабораторії. Протягом тривалого часу з 1951 по 1975 р.р. кафедру очолював проректор з науково-дослідної роботи к.т.н., доц. Кононенко В.В. З 1975 по 1986 р.р. кафедру очолювали к.т.н., доц. Коваленко В.С., к.т.н., доц. Назаров Ю.Ф., к.т.н., доц. Неделін Ю.Л. З 1986 по 1997 р.р. завідувачем кафедри був к.т.н., доц. Алімочкин В.М., а з 1997 по 2011 р.р. – к.т.н., доц. Крюк А.Г.

В 1998 р. кафедра реорганізована в кафедру техніки та технології, а в 2015 р. на основі кафедри природничих наук та кафедри техніки і технології створено кафедру природничих наук та технології, яка оснащена всім необхідним устаткуванням, включаючи комп'ютерну техніку, контрольні-вимірні прилади та макети. З 2011 р. кафедру очолює д.т.н., проф. Новіков Ф.В.

На кафедрі протягом 30 років (1976-2006 р.р.) працював ветеран Великої Вітчизняної війни, учасник героїчної оборони Севастополя (1941-1942 р.р.) к.т.н., проф. Дудко П.Д., який був чудовим педагогом, одним із засновників фундаментальної теорії абразивної обробки деталей машин. Він вніс значний вклад у розвиток кафедри, розробив концепцію підготовки інженерів-економістів і менеджерів, підготував ряд навчальних посібників з дисциплін кафедри.

За час свого існування кафедра постійно була укомплектована кваліфікованими викладачами, які, як правило, мали значний виробничий досвід, добре володіли технологічними та економічними знаннями. Це забезпечило підготовку висококласних фахівців, які успішно працювали в різних галузях промисловості. Багато випускників після закінчення інституту завдяки високій технологічній підготовці працювали директорами й головними інженерами великих промислових підприємств. У важкий для України період переходу на ринкову економіку випускники (тоді вже Харківського національного економічного університету) були також в авангарді створення малого й середнього бізнесу в промисловому виробництві.

Сучасна кафедра техніки та технології – це згуртований творчий колектив однодумців, висококваліфікованих педагогів та вчених, до складу якого входять: завідувач кафедри д.т.н., професор Новіков Ф.В., д.т.н., професор Смирний М.Ф., д.ф.-м.н., професор Платков В.Я., д.т.н. Саввова О.В., к.т.н., професор Крюк А.Г., к.ф.-м.н., доцент Гоков О.М., кандидати технічних наук, доценти Шкурупій В.Г., Савченко М.Ф., Дитиненко С.О., Цапко Н.С.



Викладачі кафедри

На кафедрі викладаються такі дисципліни: технічна механіка, матеріалознавство, видавничо-поліграфічні матеріали, креслення, сучасні технологічні системи, системи автоматизованого проектування технологічних процесів, інноваційні технології виробництва продукції та надання послуг, концепції сучасного природознавства, технічний аудит підприємств і організацій, основи технологічних систем, системи технологій промисловості, товарознавство, фізика, електротехніка та електроніка, основи електротехніки та електроніки, комп'ютерна графіка та візуалізація. Дисципліни кафедри спрямовані на формування в студентів таких компетентностей:

- здійснювання планування та організацію виробництва сучасних конкурентоспроможних виробів на підставі технічного та технологічного оновлення, що забезпечується поєднанням економічних та технічних знань;
- розробка технічних та технологічних заходів щодо підвищення ефективності виробництва та продуктивності праці;
- визначення перспективних напрямків технічного переозброєння виробництва та модернізацію підприємств з метою підвищення конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках.

На кафедрі проводиться велика учбово-методична і наукова робота. Підготовлено й видано 4 підручники, 37 навчальних посібників і 5 конспектів лекцій. Викладачі кафедри консультують студентів 4 та 6 курсів з питань підготовки технологічної частини дипломних робіт, проводять виробничу та ознайомлювальну практику зі студентами на різних підприємствах Харкова та України.



Зі студентами на виробничій практиці в ТОВ «Імперія металів»

Кафедра природничих наук та технології визнана в Україні й за її межами як популяризатор наукових знань і тісного зв'язку науки й виробництва. За підсумками досліджень на кафедрі опубліковано 27 монографій, більше 1200 наукових праць у вітчизняних та закордонних виданнях, отримано більше 800 авторських посвідчень на винаходи та патентів.



На Міжнародному Промисловому форумі (м. Київ)



Навчальні посібники та монографії викладачів кафедри

Викладачами кафедри за час її існування підготовлено 22 кандидатів технічних наук та 5 докторів технічних наук.

На кафедрі виконуються фундаментальні наукові дослідження в галузі технології машинобудування, обробки металів різанням і тиском, фізико-технічної обробки, розробки технологій високошвидкісного різання матеріалів та прогресивних конструкцій інструментів;

розробки ефективних технологій шліфування важкооброблюваних матеріалів алмазними кругами на металевих зв'язках із застосуванням методів електроерозійного виправлення;

розробки наукових основ технологічного забезпечення геометричних та фізико-хімічних характеристик високоточних поверхонь деталей літальних апаратів, що працюють в умовах дії світлового потоку;

розробки імпульсних технологій обробки металів методами пластичного деформування, в тому числі й для виготовлення великогабаритних виробів;

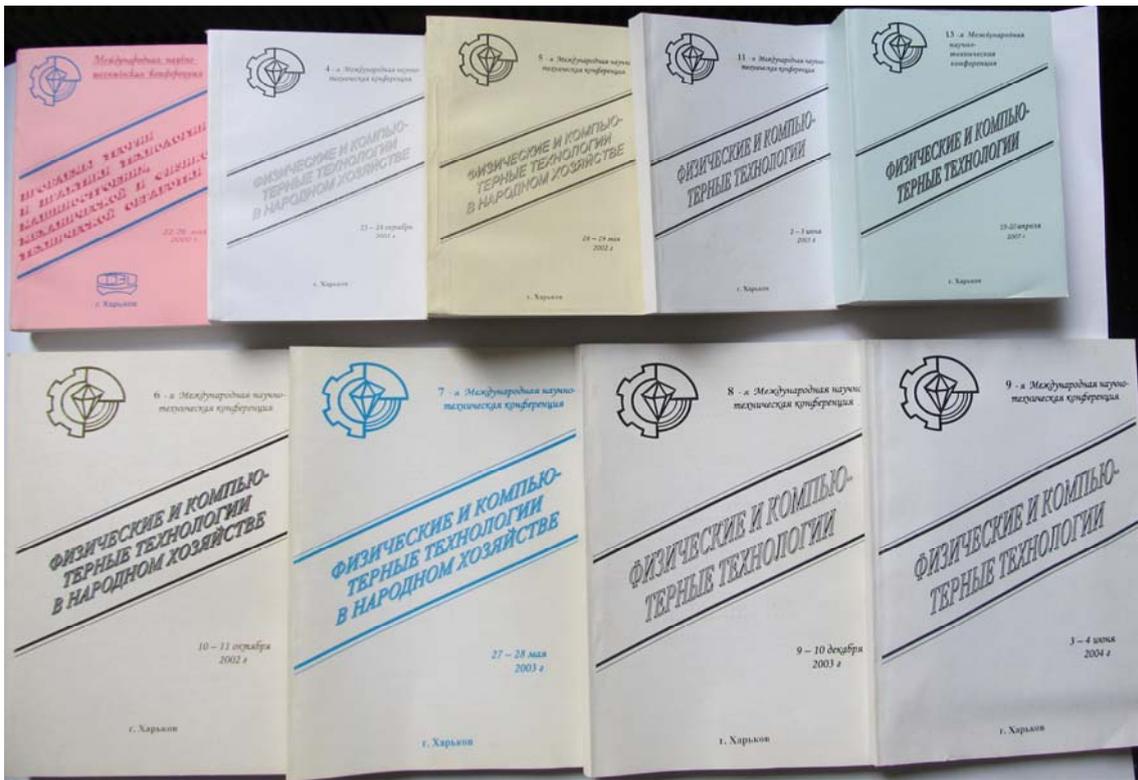
розробки теорії та технології виготовлення вигнутих профілів із спеціальними експлуатаційними якостями методами валкової формовки;

виконуються наукові дослідження в галузі технології тугоплавких неметалевих силікатних матеріалів, зокрема отримання поліфункційних в'язучих матеріалів із заданими властивостями;

динаміки дислокацій, дисипативних властивостей металів та сплавів, обумовлених динамічною поведінкою дислокацій;

високопористих матеріалів, їх здатністю до фільтрування та сепарації в різних середовищах; фізики та динаміки низькотемпературної іоносферної плазми.

На кафедрі виконуються господарчі договори з машинобудівними підприємствами з тематики розробки та впровадження нових технологій у виробництво. Результати досліджень впроваджено більш ніж на 100 підприємствах України. Це прогресивні технології алмазного шліфування деталей із твердих сплавів та високоміцних сталей і наплавлених матеріалів, виготовлення високоточних деталей авіаційно-космічного призначення, лазерних дзеркал, деталей двигунів, бурильної техніки, шахтного і металургійного обладнання, гранки алмазів в діаманти та обробки технічного скла, виробів із кристалю, твердих порід каміння та ін.



Збірники наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні та комп'ютерні технології»

Щорічно кафедра на базі Харківського машинобудівного заводу «ФЕД» проводить Міжнародні науково-практичні конференції «Фізичні й комп'ютерні технології» за наступною тематикою:

1. Наукові концепції розвитку технології машинобудування, механічної і фізико-технічної обробки.
2. Інноваційні технології, обладнання та інструменти.
3. Безпечні технології виробництва і охорони навколишнього середовища.
4. Розробка і застосування комп'ютерних технологій.
5. Економіка промисловості.
6. Динаміка та міцність машин, проблеми математики, механіки та управління.
7. Авіаційно-космічна техніка та технології.

Вже проведено 21 конференцію. За підсумками конференцій видаються збірники наукових праць. В рамках конференцій під науковим керівництвом професора Новікова Ф.В. підготовлено й вийшло в світ 10-томне фундаментальне видання (у формі монографій) під загальною назвою «Фізико-математична теорія процесів обробки матеріалів і технології машинобудування».



10-томне наукове видання «Фізико-математична теорія процесів обробки матеріалів і технології машинобудування»

На кафедрі налагоджено плідне співробітництво з ТОВ Технічний центр «ВаріУс», м. Дніпро (директор – канд. техн. наук Жовтобрюх В.О.), який, працюючи на промисловому ринку України, є найбільшою компанією, що спеціалізується на забезпеченні підприємств устаткуванням, інструментом, запасними частинами.

Компанія надає повний комплекс робіт з підготовки технології, а також постачання і сервісу металообробного обладнання. Постійними замовниками компанії є практично всі працюючі підприємства машинобудівної, металургійної та інших галузей промисловості, а також багато підрозділів залізниць.



Директор ТОВ Технічний центр «ВаріУс»,
канд. техн. наук Жовтобрюх В.О.

На кафедрі налагоджено також плідне співробітництво з ТОВ «Імперія металів», фірмою «ДіМерус Інженерінг» (м. Харків), Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Одеським національним політехнічним університетом, НТУ «ХП», Національним аерокосмічним університетом ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харківським національним технічним університетом сільського господарства ім. П. Василенка, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (м. Маріуполь), Луцьким національним технічним університетом, Харківським національним університетом ім. В.Н. Каразіна, Інститутом проблем машинобудування НАН України, ПАТ «ФЕД», ПАТ «Світло шахтаря», Приватним акціонерним товариством ХМЗ «ПЛІНФА» та ін.

ЗМІСТ

1. НАУКОВІ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІЧНОЇ ТА ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Новиков Ф. В. Научная школа профессора Якимова Александра Васильевича	3
Новиков Ф.В., Андилахай В.А. Разработка эффективного технологического процесса круглого шлифования наплавленных контактных поверхностей конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей	7
Жовтобрюх В.А., Бобух К.А., Dooyoung Jeong. Многофункциональные токарно-фрезерные обрабатывающие центры "DOOSAN"	18
Жовтобрюх В.А. Направления эффективного применения современных металлорежущих инструментов	22
Жовтобрюх В.А. Разработка и внедрение прогрессивной технологии механической обработки турбинных лопаток	29
Клименко С. А., Клименко С. Ан., Манохин А. С., Копейкина М.Ю. Защитное покрытие для режущих инструментов из поликристаллического кубического нитрида бора	32
Саленко А.Ф., Клименко С.А. Гибридная струйная технология разрезания пластин из слоистых алмазно-твердосплавных композитов	36
Коломиец В.В., Ридный Р.В., Фабричникова И.А., Шабалин Д.В., Vijay Kumar Перспективы применения пикометрии при обработке покрытий деталей и инструмента	39
Сизый Ю. А., Сталинский Д. В., Ушаков А. Н. Некоторые задачи исследования и анализа динамических систем металлорежущих станков ...	41
Ковалев В.Д., Ключко А.А., Кравченко Д.А., Терещенко Т.В. Повышение эффективности гидродинамических свойств высокоскоростных тяжело-нагруженных зубчатых цилиндрических передач	49
Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Ивкин В.В., Руднев А.В., Аракелян А.А. Возможности развития современного станкостроения для реализации алмазно-искрового шлифования	52
Гуцаленко Ю.Г., Янку К.Г., Севидова Е.К., Степанова И.И. Локальные электроизоляционные решения инструментов из сверхтвердых материалов для их расширенной адаптации к алмазно-искровому шлифованию	56
Лавриненко В.И., Сытник Б.В., Солод В.Ю., Музичка Д.Г., Поизд И.Н. Технологические и инструментальные особенности формирования шероховатости обработанной поверхности при алмазном шлифовании ..	60

Лавриненко В.И., Скрябин В.В., Скрябин В.А., Солод В.Ю., Панарин В.В. Эффективные технологические процессы шлифования инструментальных сталей кругами из кубического нитрида бора	64
Лавріненко В.І., Солод В.Ю., Музичка Д.Г., Костюк К.П. Різальна здатність робочої поверхні шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів та пошук технологічних методів її поновлення	69
Марчук В.І., Ештеіві А.М., Шишко К.В. Мікрогеометричні параметри в 3-D системі та експлуатаційні властивості в інженерії поверхні	74
Марчук В.І., Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності деталей в переналагоджувальному підшипниковому виробництві	79
Полянский В.И. Производство формующей оснастки для макаронной и кондитерской отраслей промышленности	82
Ларшин В.П., Лищенко Н.В., Рябенков И.А. Определение припуска на зубошлифование на основе дискретных измерений	89
Андилахай А. А. Закономерности образования микросрезов и шероховатости поверхности при абразивной обработке затопленными струями ...	92
Степанов М.С., Иванова М.С. Экспериментальные исследования податливости технологической системы, оснащенной комбинированным осевым инструментом	102
Степанов М.С., Новиков Ф.В., Клочко А.А., Анцыферова О.О., Палашек С.Ю. Интенсификация и влияние структурных превращений при зубошлифовании	107
Новиков Ф.В., Клочко А.А., Гасанов М.И., Басова Е.В., Лищенко А.Н. Особенности эксплуатации абразивных кругов при зубошлифовании	110
Нежебовский В.В., Новиков Ф.В. Определение оптимальных условий обработки при зубошлифовании зубчатых колес приводов шахтных конвейеров	113
Kovalevskyy S., Kovalevska O. Neural network control forming parts capacity by material	126
Хавин Г.Л. Закономерности износа инструмента, отличного от спирального сверла при обработке отверстий в композитах	135
Кленов О.С. Высокоэффективные технологии механической обработки ...	139
Гусарев В.С. Технология и ее предмет	146
Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И. Резцы с упругой демпфирующей вставкой в державку	153
Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И. Резцы с державкой в упругой вставке	157
Гусарев В.С., Ковальчук Е.Н. Структурное моделирование процесса автоматической сборки деталей в конструкции	162

Pankaj kumar mishra, Arvind saran darbari, Dr. Vijay kumar, Shishir srivastava. Design of Nozzle for Optimization of Performance of Vertical Axis Wind Turbine	171
Христенко О.А. Повышение работоспособности резьбонарезного инструмента плазменной обработкой	174
Новиков Г.В. Основные преимущества глубинного алмазного шлифования ..	177
Проц Л.А., Лавріненко В.І. Формування плоских поверхонь пластин композитних матеріалів з нанокристаллами $CdS_{1-x}Se_x$ вкрапленими у матрицю з боросилікатного скла	182
Vodzianskiy V.V., Vodzianskiy S.V. About special features of the component overhaul of the large-sized isolation valve	185
Шкурупий В.Г. Технологические рекомендации по обработке поверхностей полированием	189
Шкурупий В.Г., Новиков Ф.В. Закономерности взаимодействия инструмента-полировальника и обрабатываемого металла при абразивном полировании	194
Кустов В. В. Оптимізація режимів різання при поздовжньому точінні напилених покриттів	200
Ларшин В.П., Лищенко Н. В., Ковальчук А.Н. Исследование технологической системы профильного зубошлифования	202
Ларшин В.П., Лищенко Н. В., Нежебовский В.В. Теоретико-вероятностный и частотный подходы в технологическом анализе	208
Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Расчет теплового потока и температуры на разных участках эвольвентного профиля при зубошлифовании	212
Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Определение мгновенной глубины зубошлифования на основе аналитического уравнения эвольвенты	217
Стрельчук Р. М. Особенности алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с минимальным применением сухих углеводородных смазок	222
Руднев А.В. Оптимизация технологической себестоимости шлифования лезвийных инструментов с пластинами марки АТПМ	226
Добротворський С.С., Басова Є.В., Подріз Є.Г. Математичне моделювання технологічних процесів ударної обробки багатосферних виробів з крихких та пластичних матеріалів	230
Лещенко О.В. Електроерозійна обробка титанових і алюмінієвих сплавів.	231
Лебедев В.Г., Клименко Н. Н., Чумаченко Т.В., Овчаренко А.В. Имитационная модель автоматического управления контактной температурой шлифования	236

2. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Сатановский Е.А., Мальцев Т.В. Метод оценки напряженно-деформированного состояния поршневых колец, упрочненных ионно-плазменным покрытием	241
Скобло Т.С., Ридный Р.В., Коломиец В.В. Исследование способов повышения износостойкости наплавки восстановленных деталей	244
Лобанов В.К., Пашкова Г.И. Исследование напряжений в рамных сварных конструкциях экспериментальными методами	248
Дерев'янченко О.Г. Підхід до автоматизованого визначення мікротвердості при дослідженнях у матеріалознавстві	252
Пилипець М.І., Паньків В.Р. Теоретично-експериментальні дослідження продуктивності комбінованого гвинтового транспортера-подрібнювача	257
Крюк А. Г. Комбинированная технология изготовления гнутых профилей настилов с поверхностью противоскольжения	261
Третяк В.В., Федорова А.С., Савченко М.Ф. Можливості використання алгоритмів вирішення винахідницьких задач (АВВЗ) для проектування об'єктів нової техніки	267
Нечаев В.П., Рязанцев А.А. Инновационная технология плазменного упрочнения элементов силовых передач рудоразмольных мельниц	270
Гайдусь А.Ю., Калиберда Л.М., Прихода М.А., Спольник А.И. Исследование распределения по глубине дефектов структуры в облученном ионами гелия никеле методом ФМР	273
Гайдусь А.Ю., Спольник А.И. Ферромагнитный резонанс в кристаллах с движущимися дислокациями	278
Свіргун В.П., Свіргун О.А. Порівняння різних способів керування мостовим автоматизованим краном	283
Ольшанський В.П., Бурлака В.В., Сліпченко М.В., Малець О.М. Динаміка зерноsumішей змінної пористості на віброрешетах	286
Богданович О.А. Споживання основних продовольчих продуктів в Україні	289
Аксенова С. И., Сатановский Е. А. Оптимизация технологии изотермической закалки конструкционной стали для предотвращения замедленного разрушения	292
Двойнікова О. С. Переваги використання полімерних матеріалів перед бітумними при укладанні покрівлі на плоскому даху	293
Павлова Т.Ю. Удосконалення конструкції водогрійного котла ПТВМ – 100	296

3. БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Новиков Ф. В. Опыт применения экологически безопасных технологий алмазно-абразивной обработки материалов	300
Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Алексенко Б.А. Совершенствование технологии процесса регенерации молекулярных сит в адсорбционных осушителях сжатого воздуха	304
Петков А.А. Особенности применения многошаговой модели для описания поражения объектов разрядом длинной искры	306
Смирний М.Ф. Визначення механічних напружень у феромагнітній конструкції – запорука підвищення рівня її безпечної експлуатації	310
Савченко М.Ф., Некрасова Ю.О. Впровадження енергозберігаючих технологій на ПП «Никифоров»	312
Савченко М.Ф. До розробки автоматизованих систем проектування засобів попередження і ліквідації аварій в техногенних об'єктах	315
Савченко М.Ф. До розробки методології проектування гнучких технологічних систем попередження і ліквідації аварій (ГТС ПЛА)	319
Савченко М.Ф. Деякі особливості проектування технологічних систем попередження і ліквідації аварій (ГТС ПЛА)	323
Дитиненко С.А. Экологически чистые процессы в стекольном производстве .	328
Бабак Т.Г., Хавин Г.Л. Анализ энергоэффективности и модернизация системы установленных теплообменников	331
Цапко Н.С., Сіроштан Ю. Аналіз можливості використання твердих відходів нафтохімії у виробництві портландцементу	335
Платков В.Я., Калюжный А.Б., Калюжный Б.Г. Температурная зависимость КЛТР фильтрующих материалов на основе фторопласта-4 для экологически чистых технологий	339
Саввова О. В., Бабіч О. В., Топчий В.Л. Захисні склокристалічні матеріали зі зниженою температурою термічної обробки	342
Шабанова Г.Н., Корогодская А.Н., Гапонова Е.А., Нагорный А.О., Ворожбян Р.М., Христинич Е.В. Применение отходов химической промышленности в производстве специальных вяжущих материалов	346
Протасенко О.Ф., Северинов О.В. Оцінювання якості організації і безпеки робочого місця	349
Протасенко О.Ф., Івашура А.А. Екологічне середовище на робочому місці	352
Логвинков С.М., Борисенко О.Н., Попенко Г.С., Кобзин В.Г. Экологические и технологические перспективы корундографитовых огнеупоров градиентного состава для плит шиберных затворов	355

Гоков А. М., Деточенко И. Н. Экологические аспекты атмосферного электричества мегаполисов	358
Тараненкова В.В., Шабанова Г.М. Екологічні аспекти одержання та застосування будівельних матеріалів на основі каустичного доломіту	361
Буц Ю.В., Барбашин В.В., Крайнюк О.В. Технологія процесів постпірогенної релаксії у лісових ландшафтах після пожеж	364
Попенко Г.С. Утилізація промислових відходів як елемент забезпечення екологічної безпеки	368
Іващенко М.Ю. Порівняльна характеристика існуючих захисних матеріалів від електромагнітного випромінювання	370
Безсонний В.Л., Третьяков О.В. Вдосконалення технології водопідготовки питної води з поверхневих джерел водопостачання	373
Беспалов О.Є. Удосконалення камери гасіння коксу	376

4. ЕКОНОМІКА ПРОМИСЛОВОСТІ

Ачкасова С. А. Автоматизація діяльності небанківських фінансових установ.	380
Ус М.І. Партнерські відносини підприємств в машинобудівній галузі	384
Бутенко Д.С. Використання сучасних інформаційних технологій в менеджменті	387
Рожко В.І. Формування системи збуту та розподілу товарів вітчизняного виробництва у сучасних умовах	389
Савченко Н.Ф. К оценке возможностей повышения потребительских свойств с позиций взаимодействия системы «потребитель-производитель»	394
Свидерский В.П., Фридман Е.А. Оценка и управление риском при внедрении новых технологий	397
Свідерський В.П., Абрамова І.М. Взаємозв'язок розвитку інновацій та глобальної конкурентоздатності України	401
Свідерський В. П., Шаповалова Н.П. Інноваційні процеси як поштовх для змін у підготовці майбутніх фахівців економічного профілю	404
Новіков Д.Ф. Взаємозв'язок підрозділів промислового підприємства та підготовка персоналу	408
Небилиця О.А., Мумінова Ф.Р. Особливості формування програми «Event-Маркетинг» для туристичного підприємства	411
Гарафонова О.І., Дроздов А.В. Марочна стратегія підприємства	414
Кудлай В.С., Лисицька Д.Д. Використання сучасних маркетингових інструментів у маркетинговій діяльності підприємства	416
Ткачук І. І. Проблеми інформаційного забезпечення інноваційного розвитку підприємства	418

Савченко М. М. Деякі особливості підвищення ефективності кадрів для малих інноваційно-орієнтованих підприємств	420
Янковой Р.В., Ашихіна Л.В. Складові програми event-маркетингу	424
Притиченко Т.І., Калюжна К.О., Гук. І.М. Інтернет–маркетинг як складова електронної комерції: сутність, сучасний стан та перспективи розвитку в Україні	426
Птащенко О.В., Байрамалієва М.А. Використання інформаційних технологій в діяльності підприємства	430
Чікірісов Д.В., Ташлієв М.Ч. Товарна політика підприємства та її маркетингова складова	432
Литвиненко А.В. Проблеми визначення бюджету зовнішньої оптимізації інтернет-ресурсу підприємства	434
Ракосій П.В., Поляков В.С. Сучасні тенденції розробки марочної стратегії	437
Голиш Т.І. Способи обходу державних обмежень маркетингової діяльності	440

5. ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНІКИ ТА УПРАВЛІННЯ

Лавінський Д.В., Морачковський О.К. Чисельний аналіз пружно-пластичного деформування під дією електромагнітного поля	444
Вакуленко К.В., Казак І.Б., Сорочинский С.В. Оценка степени усталостной деградации стали 40X методом коэрцитивной силы	448
Библик И.В., Вакуленко К.В., Казак И.Б., Ярещенко В.Г. Комплексный подход к оценке влияния поверхностной обработки на усталостное поведение стали 40X	452
Русанов А.В., Хорев О.Н., Рябова С.А., Косьянов Д.Ю., Сухоробрый П.Н. Влияние окружных и осевых навалов лопастей рабочего колеса осевой гидротурбины на характеристики проточной части	456
Третьяк А.В., Шуть А.Ю., Гакал П.Г., Полиенко В.Р. Расчет и проектирование гидрогенераторов капсульного типа современными методами математического моделирования в трехмерной постановке	460
Роп'як Л. Я., Воробйов М. С., Маковійчук М. В. Моделювання руху твердих частинок у рідкому алюмінієвому сплаві при відцентровому армуванні виливок з двома осями обертання ливарної форми	463
Назаренко С. А. Компьютерные технологии мультифизических процессов	466

Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Плеснецов С.Ю. Разработка основ электромагнитно-акустического возбуждения крутильных волн в трубчатых металлоизделиях	469
Кіяновський М.В., Дубровський С.С., Бондар О.В. Забезпечення інтеграції модулів комп'ютерних технологій в єдиному інформаційному просторі підприємства	473
Дегтярёв О.Д. Оценка возможности форсирования вертолётного ГТД на взлетном режиме путем впрыска воды в камеру сгорания	475
Chugay A.M., Pankratov A.V., Romanova T.E. Computer modeling in solving packing problem	478
Сенчуков В.Ф. Четверта проблема списку Едмунда Ландау та її розв'язання	481
Спольнік О.І., Гайдусь А.Ю., Волчок І.В. Експериментальні задачі з фізики як основа розвитку творчих здібностей студентів	484
Спольник А.И., Прихода М.А., Гайдусь А.Ю., Калиберда Л.М. Применение информационных и коммуникационных технологий в системе дистанционного обучения	487
Спольнік О.І., Волчок І.В., Гайдусь А.Ю., Каліберда Л.М., Прихода М.О. Шляхи вирішення проблем викладання загальної фізики при дистанційному навчанні	489
Дженюк А.В. Технологія циклічного тестування – інструментарій компетентнісної парадигми	492
КАФЕДРА ПРИРОДНИЧИХ НАУК ТА ТЕХНОЛОГІЙ ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ЕКОНОМІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ	496

Наукове видання

ФІЗИЧНІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції
7–9 грудня 2016 р.

Укладач: Новіков Федір Васильович

Відповідальний за випуск:
Жовтобрюх В.О.

Оформлення оригінал-макету:
Новіков Д. Ф.

Підп. до друку 24.11.2016 р.
Формат 60x84 1/18. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 31,87.
Наклад 300 пр. Зам. № 270

Видавництво і друкарня «Ліра»
49000, м. Дніпро, вул. Наукова, 5
Свідоцтво про внесення до Держреєстру
ДК №188 від 19.09.2000.