

*7 - я Международная
научно-
техническая
конференция*

**ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*27 – 28 мая
2003 г*

г. Харьков

Харьковская научно-производственная корпорация "ФЭД"
Харьковский государственный экономический университет
Одесский национальный политехнический университет
ОАО Завод "Потенциал"
ЗАО Завод "Южкабель"
Одесское отделение Инженерной Академии Украины
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины
Институт проблем машиностроения НАН Украины
Институт машин и систем НАН Украины
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
Харьковский национальный технический университет радиоэлектроники
Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта
Донецкий государственный технический университет
Сумской государственный университет
Национальная Металлургическая Академия Украины
Севастопольский национальный технический университет
Луцкий государственный технический университет
Херсонский государственный технический университет
Тульский государственный университет
Курский государственный технический университет
Ульяновский государственный технический университет
Саратовский государственный технический университет
Пермский государственный технический университет
ГП "Завод им. Малышева"
АО "Мотор - Січ"
ХГ Авиационное производственное предприятие
ХГ Приборостроительный завод им. Шевченко
Харьковское агрегатное конструкторское бюро
НТК "Эльбор-4"
Гомельское ПО "Кристалл"
Жешувский технологический университет, Польша
Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к
проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

ТРУДЫ 7-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ"**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
TECHNICAL CONFERENCE**

Харьков 2003

УДК 62-65: 621.382.82

Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.

Труды 7-й Международной научно-технической конференции, 27-28 мая 2003г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003г. – 279 с.

Представлены труды, в которых рассмотрены проблемы технологии машиностроения и обработки материалов; прогрессивное оборудование для бурения нефтяных и газовых скважин; проблемы динамики и прочности машин, математики, механики, физики и экономики; проблемы создания и применения компьютерных технологий.

Для специалистов в области машиностроения, научно-технических работников и студентов.

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНФЕРЕНЦИИ:

Сопредседатели:

Якимов А.В., д.т.н.	(Одесса)	Ларшин В.П., д.т.н.	(Одесса)
Новиков Ф.В., д.т.н.	(Харьков)	Львов Г.И., д.т.н.	(Харьков)
Фадеев В.А., к.т.н.	(Харьков)	Малыхин В.В., к.т.н.	(Курск)
Кривошапка Ю.Н., к.э.н.	(Харьков)	Мовшович А.Я., д.т.н.	(Харьков)
Ткаченко В.П.	(Харьков)	Морачковский О.К., д.т.н.	(Харьков)

Члены совета:

Гринева В.Н., д.э.н.	(Харьков)	Невлюдов И.Ш., д.т.н.	(Харьков)
Дудко П.Д., к.т.н.	(Харьков)	Новиков Г. В., к.т.н.	(Харьков)
Коломиец В.В., д.т.н.	(Харьков)	Шепелев А.А., д.т.н.	(Киев)
Крюк А.Г., к.т.н.	(Харьков)	Ямников А.С., д.т.н.	(Тула)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Александров Е.Е., д.т.н.	(Харьков)	Линчевский П.А., д.т.н.	(Одесса)
Воробьев Ю.С., д.т.н.	(Харьков)	Матюха П.Г., д.т.н.	(Донецк)
Гапонов В.С., д.т.н.	(Харьков)	Новоселов С.П., к.т.н.	(Харьков)
Горбатюк Н.В., к.т.н.	(Харьков)	Новоселов Ю.К., д.т.н.	(Севастополь)
Дьяченко С.С., д.т.н.	(Харьков)	Новиков С.Г., к.т.н.	(Курск)
Дитиненко С. А.	(Харьков)	Осипов В.А., к.т.н.	(Сумы)
Евстратов В.А., д.т.н.	(Харьков)	Проволоцкий А.Е., д.т.н.	(Днепропетровск)
Карпушенко В.П., к.э.н.	(Харьков)	Скобло Т.С., д.т.н.	(Харьков)
Клименко А.А., д.т.н.	(Одесса)	Сизый Ю.А., д.т.н.	(Харьков)
Клименко С.А., д.т.н.	(Киев)	Усов А.В., д.т.н.	(Одесса)
Королев А.В., д.т.н.	(Саратов)	Худобин Л.В., д.т.н.	(Ульяновск)
Колодяжный А.В., к.т.н.	(Харьков)	Тернюк Н.Э., д.т.н.	(Харьков)
Лавриненко В.И., д.т.н.	(Киев)	Тимофеева Л.А., д.т.н.	(Харьков)

Труды воспроизводятся непосредственно с авторских оригиналов.

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

Дорогие друзья! Поздравляем Вас с открытием очередной 7-ой Международной научно-технической конференции “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве”. Желаем всем крепкого здоровья, счастья и больших творческих успехов.

Кажется совсем недавно, три года назад, мы впервые встретились на нашей 1-й конференции. Был такой же теплый солнечный май 2000 года. Фотография запечатлела наши улыбающиеся лица, прекрасное настроение, огромное удовлетворение от жарких научных дискуссий. И вот опять мы вместе, чтобы подвести итоги нашей большой научной работы, получить новый импульс энергии и шаг за шагом постигать глубины науки.

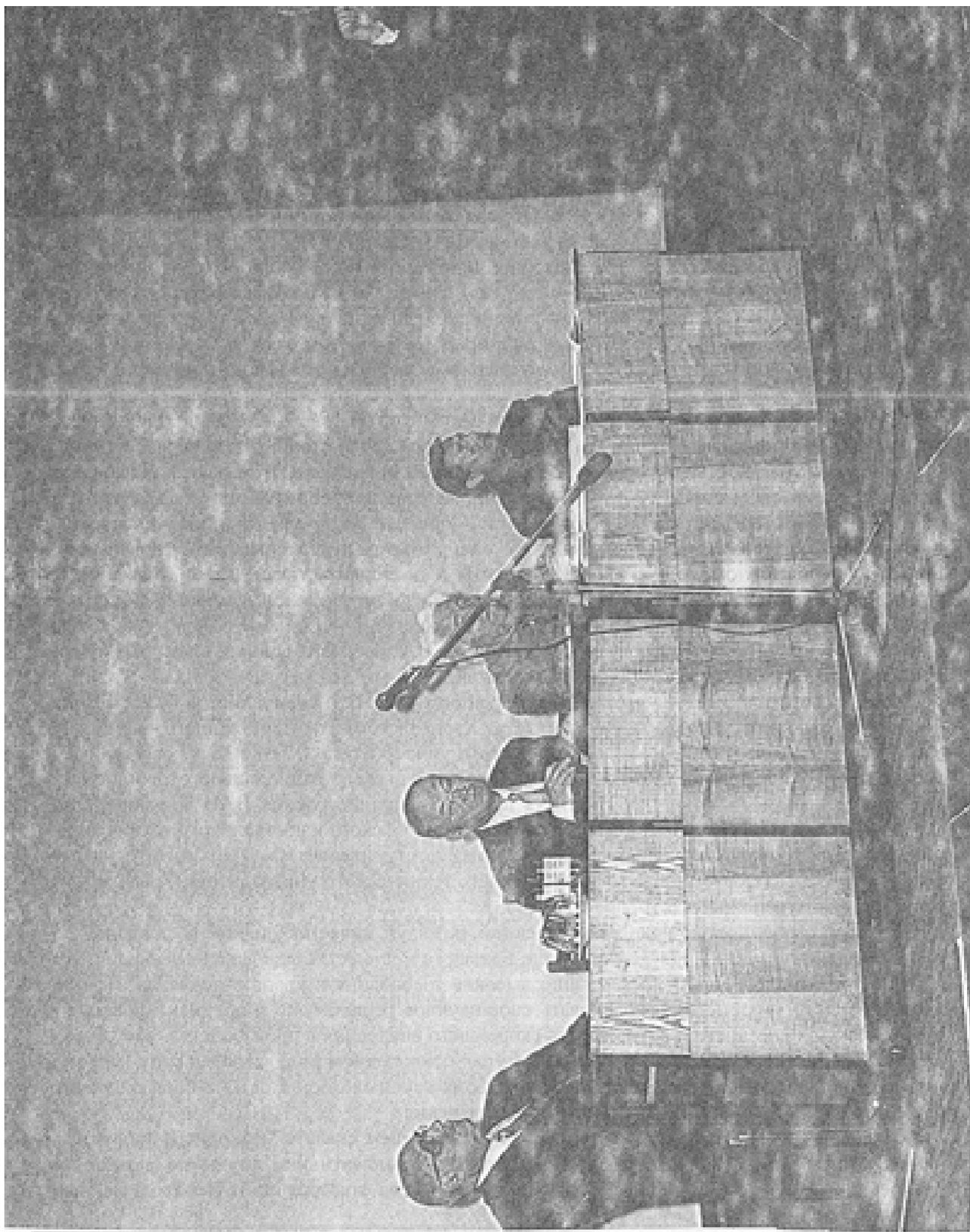
Основная задача проводимых конференций – способствовать скорейшему внедрению научных разработок в производство и учебные процессы. Поэтому не случайно мы проводим конференции на заводе, в рабочей среде. Отсюда самый короткий путь к станку, к рабочему и инженеру, которые будут воплощать наши научные решения в металле, в новых самолетах, в нашей отечественной конкурентоспособной продукции. Не случайно и то, что мы проводим наши конференции на машиностроительном заводе “ФЭД”, который сегодня является флагманом машиностроения. У нас, всех участников конференции, была возможность за эти годы убедиться в том, какие прекрасные люди работают на этом заводе. От Оргкомитета и всех участников конференции хотим поблагодарить весь коллектив завода и лично генерального директора Жданова Александра Андреевича, главного инженера Фадеева Валерия Андреевича и заместителя генерального директора Кривошапка Юрия Николаевича за помощь в организации и проведении наших конференций. Мы со своей стороны приложим все силы, чтобы научные разработки участников конференций были внедрены и эффективно использовались на прекрасном заводе “ФЭД”. В этом направлении на заводе работы уже ведутся.

За три года мы с вами прошли большой путь – провели 6 конференций, заслушали около двух тысяч докладов, дали “путевку в жизнь” очень многим интересным идеям и решениям. Большую и полезную школу прошли аспиранты и докторанты, выступая с докладами на конференциях. Многие из них за это время успешно защитили кандидатские и докторские диссертации и продолжают работать над их внедрением в производство. По итогам конференций постоянно издаются научные труды, а также ВАКовские сборники, в которых публикуются доклады и статьи участников конференций.

Хотим отметить активное участие в конференциях ученых и специалистов Одесского национального политехнического университета, Харьковского государственного экономического университета, Национального технического университета “ХПИ”, Харьковского государственного университета сельского хозяйства, Харьковского национального технического университета радиозлектроники, Институт проблем машиностроения НАН Украины, ОАО завод “Потенциал”, ГП завод им. Малышева, Севастопольского национального технического университета, Луцкого государственного технического университета, Тульского государственного университета, Курского государственного технического университета, Ульяновского государственного технического университета.

Основной особенностью наших конференций, пожалуй, является удачное соединение теории и практики Науки. Присутствие в зале большого количества заводских специалистов и научных работников ставит чрезвычайно высокие требования к уровню докладов. Необходимо не только теоретически обосновать свое научное решение, но и аргументировать его практическую полезность и возможность скорейшего внедрения в производство. Это обстоятельство заставляет каждого из нас, кто выступал с докладом и почувствовал силу вопросов и замечаний, еще раз переосмыслить величие своих научных открытий и по-новому посмотреть на казалось бы уже известные бесспорные решения.

На первой конференции мы выступили с предложением сделать “выходным продуктом” наших конференций многотомные фундаментальные коллективные труды по разным направлениям науки, отражающие достижения участников конференций. Необходимо





отметить, что в этом плане работы ведутся очень активно. На сегодня один том отпечатан в типографии и подготовлено к печати два тома (по 600-800 страниц объемом) 10-ти томного издания в форме монографии «Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения» под редакцией Новикова Ф.В. и Якимова А.В. Еще два тома готовы на 80%. В работе приняли участие ведущие ученые-технологи и специалисты стран СНГ. Приглашаем всех участников конференции к сотрудничеству в подготовке данного издания.

Одной из основных задач проводимых конференций мы рассматриваем стимулирование работ по написанию монографий, учебников и учебных пособий. За эти годы нами изданы следующие учебники и учебные пособия:

1. Технологія автоматизованого машинобудування: Підручник / О.В. Якимов, В.С. Гусарев, О.О. Якимов, П.А. Лінчевський, Ф.В. Новіков, Г.В. Новіков, В.П. Ларшин – Одеса: ОДПУ, 1999. – 402 с.
2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
3. Теоретические основы теории машиностроения: Учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков, Н.И. Решетнев – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.

Следует отметить большую плодотворную работу авторского коллектива Харьковского государственного экономического университета под руководством проф. Дудко П.Д., подготовивших весьма интересные учебные пособия:

1. Пономаренко В.С., Сіроштан М.А., Белявцев М.І., Дудко П.Д., Тимохін О.М. Системи технологій: Навч. посібник. – Х.: Око, 2000. – 376 с.
2. Дудко П.Д., Крюк А.Г., Савченко Н.Ф. и др. Основы технологических систем. Учебное пособие. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2002. – 248 с.

Надеемся, что проводимая 7-ая конференция станет важным шагом в становлении новых научных школ, выявлении новых талантов и появлении новых теоретических и практических решений, направленных на укрепление нашей экономики.

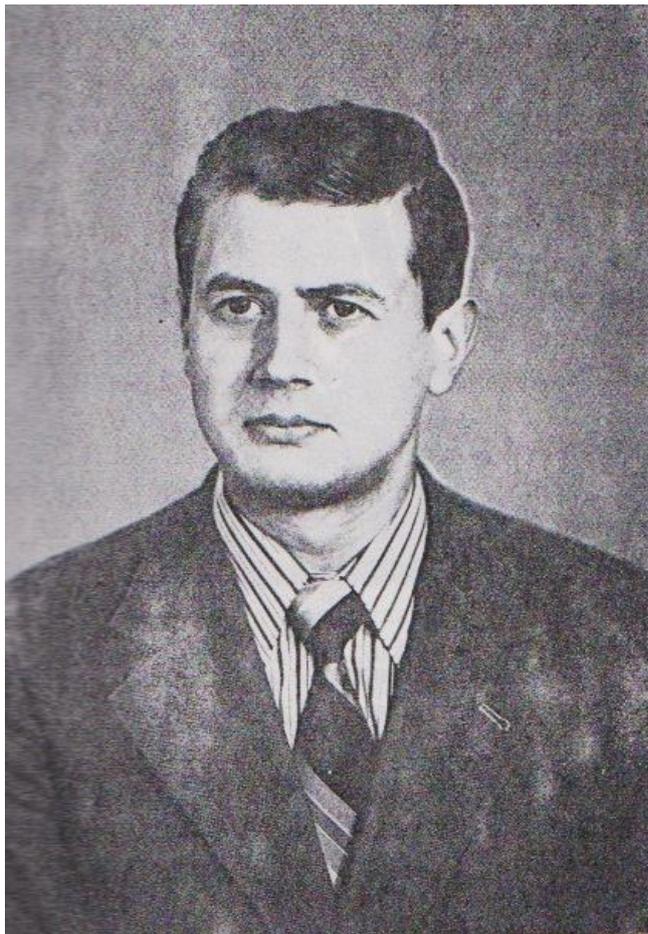
Оргкомитет конференции

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ – УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИЙ

ПУТЬ В НАУКУ: ОТ ПРОСТОГО К СЛОЖНОМУ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

Рождение наших конференций, в первую очередь, обязано замечательному человеку, ученому, педагогу, нашему дорогому Александру Васильевичу Якимову, Это его идея провести в таком большом индустриальном городе как Харьков серию научно-технических конференций с целью популяризации научных разработок и вовлечения в научную среду творческой молодежи. Ставилась задача акцентировать внимание на применение фундаментальных физико-математических подходов для решения технологических проблем, чтобы как можно быстрее перевести технологические дисциплины в ранг точных наук. Положить в основу системные решения, полученные с использованием методов высшей математики и математической физики.



Новиков Ф.В. Выпускник Харьковского политехнического института, 1977.

Вся история развития научной школы проф. Якимова А.В. – это образец самоотверженного труда во имя науки и ее тесной связи с производством; образец того, как надо любить науку. Именно любовь к науке сплотила под знамена научной школы проф. Якимова А.В. большой отряд увлеченной, целеустремленной творческой молодежи, которая своей жизненной позицией, моральными устоями доказала высокие принципы своего Учителя.

Более полусотни кандидатов и докторов наук подготовил Александр Васильевич за свою многолетнюю и плодотворную научную деятельность, и за каждым из них стоит большой и кропотливый труд, высочайший профессионализм Учителя. Меня всегда поражает в Александре Васильевиче постоянное стремление к новому, к новым задачам и решениям. Поражают глубочайшие физико-математические знания, которые, как правило, не свойственны ученым-технологам. Поражает лаконичность его научной мысли. Написанный им текст всегда отличается четкостью и ясностью – настоящий образец для подражания.

Мы дружим с Александром Васильевичем много лет. Как Учитель, он оказал на меня большое влияние, открыл новый мир знаний, помог выработать стратегию научного поиска, за что я ему очень благодарен.

Пользуясь случаем, я хотел бы сказать слова благодарности всем своим Учителям. В первую очередь, замечательным педагогам, преподавателям физики и математики в школе, моим родителям Антонине Петровне и Василию Алексе-

вичу, которые всю свою жизнь отдали благородному делу – воспитанию подрастающего поколения и которых, к сожалению, уже нет с нами. Слова благодарности первым руководителям моих студенческих научных работ на кафедре динамики и прочности машин Харьковского политехнического института – прекрасным педагогам, профессорам Олегу Константиновичу Морачковскому и Владимиру Борисовичу Гриневу, а также руководителю моей дипломной работы Борису Сергеевичу Серову. Родному Харьковскому инструментальному заводу, где после окончания института постигал “азы” производства. Замечательному коллективу кафедры резания материалов ХПИ, где будучи аспирантом, прошел хорошую школу научной закалки.

Более четверти века прошло с тех пор, как О.К. Морачковский впервые привел меня в Науку, предложил выполнить курсовую студенческую работу на тему “Магнитодинамика нелинейных пластин”. Речь шла об исследовании динамики процесса электромагнитной импульсной штамповки. Требовалось получить теоретическое решение, учитывающее соединение двух физических полей – электромагнитного и механического. Опыта решения подобных задач на кафедре динамики и прочности машин тогда еще не было. Творческая работа с Олегом Константиновичем оказалась очень интересной, увлекательной и содержательной.

Затем была дипломная работа по динамике процесса шлифования материалов, которая оказалась чрезвычайно сложной и растянулась для меня более чем на 25 лет. В чем же ее сложность? Для того, чтобы изучить динамику процесса шлифования (резания) необходимо знать количественные (математические, аналитические)



В аспирантуре на кафедре резания материалов ХПИ. Во время посещения кафедры директором Института сверхтвердых материалов НАН Украины академиком Новиковым Н.В., 1982г.



Встреча выпускников и преподавателей кафедры динамики и прочности машин ХПИ, 1987г

связи параметров, определяющих силовую напряженность процесса обработки. К сожалению, классическая теория процессов механической обработки на тот момент не располагала в полной мере данными решениями, т.к. основана на эмпирических результатах. Это потребовало решения целого комплекса сложных самостоятельных задач по кинематике и статике резания (шлифования), расчету напряженно-деформированного состояния зоны стружкообразования, прочности инструментов и температуры резания, параметров точности и качества обработки, производительности и себестоимости обработки и т.д. По сути, ставилась задача создания физико-математической теории процессов механической обработки, используя большой опыт кафедры динамики и прочности машин в области деформируемых механических систем. Данную идею поддерживали проф. Гринев В.Б., зав. кафедрой проф. Богомолов С.И. и особенно академик Филиппов А.П., который дал ценные советы по решению задач механического взаимодействия тел (инструмента и обрабатываемой детали).

Начало этой серьезной работе было положено в стенах Харьковского инструментального завода (базовой лаборатории плашек, где я по распределению после окончания института работал инженером). Там был получен один важный результат, который длительное время определял научное направление. При отработке процесса доводки внутренних резьбовых поверхностей (плашек) специально разработанным инструментом-притиром, с закрепленным на его рабочей поверхности гальваническим методом алмазным порошком, нам удалось очень удачно математически смоделировать процесс и получить аналитические решения, которые хорошо подтверждались экспериментальными данными. В результате был создан эффективный процесс алмазной доводки (притирки), который на заводе используется и в настоящее время. Суть теоретических решений состояла в том, что математически с кинематических позиций были увязаны закономерности вероятностного участия алмазных зерен резания с шероховатостью, точностью, производительностью и другими показателями обработки, была рассчитана конструкция резьбообразующего алмазно-абразивного инструмента. Полученные решения открыли дорогу к математическому описанию и глубокому познанию более сложного в кинематическом и физическом отношении процесса шлифования, которому была посвящена моя кандидатская диссертация, выполненная на кафедре резания материалов Харьковского политехнического института под научным руководством доцента (ныне профессора) Раба А.Ф.

Работа на кафедре резания материалов, которая занимала ведущие позиции в СССР по научным разработкам, была интересной. Постоянное общение с сотрудниками кафедры, профессорами Грабченко А.И., Беззубенко Н.К., Перепелицей Б.А., Зубарем В.П., Дрожжиным В.И., Узуняном М.Д. и доцентом Крюковым В.К. оставили хороший след. Однако, жесткие временные рамки, отведенные для выполнения диссертационной работы, не позволили в полной мере решить на кафедре поставленные задачи по созданию физико-математической теории процессов обработки.

Основная работа развернулась в созданном нами в 1987 году (в период перестройки) на базе “королевских организаций” Харьковском хозрасчетном научно-производственном объединении “Прогресс”, которое насчитывало до 500 квалифицированных специалистов и которое открыло большие возможности и новые формы решения научно-практических проблем. В результате большой и кропотливой работы творческого коллектива были выполнены серьезные аналитические и экспериментальные исследования по процессам обработки, что позволило разработать эффективные технологии, в частности технологии алмазной обработки (шлифования и доводки), системы автоматизированного проектирования технологических процессов и подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Технологии алмазного шлифования металлических и неметаллических материалов были внедрены более чем на 100 предприятиях Украины, России, Белоруссии, Прибалтийских республик и т.д. Причем, все технологии были доведены до рабочего состояния с обеспечением реальной технико-экономической эффективности на предприятии. Очень хорошие результаты были получены при обработке неметаллических материалов (изделия радиоэлектроники, бриллиантовое производство, стеклообработка и т.д.), где используется до 95% изготавливаемых алмазных кругов на металлических связках.

В чем же секрет результативности разработок? Главное, нам удалось весьма сложные задачи (на уровне математической физики) корректно упростить и получить решение в виде довольно простых формул, откуда буквально следовали ответы на вопросы: за счет каких факторов и параметров можно добиться наилучших результатов. Это тот случай, когда многолетний труд по разработке математических моделей оказался оправданным, получившим воплощение в конкретных практических решениях.

На мой взгляд, существенным недостатком применяемых в настоящее время математических методов при решении технических задач является то, что мы не научились в математических моделях учитывать лишь те связи и ограничения, которые необходимы для решения данной задачи. В результате решения оказываются или очень сложными, или чрезвычайно простыми. В первом случае мы затрачиваем большой труд и в конечном итоге из-за сложности не получаем ожидаемого результата. Во втором случае – отсутствуют многие важные внутренние связи исследуемого объекта и мы имеем дело лишь с частными решениями, которые малоэффективны и в принципе очевидны. Из сказанного следует, что мы еще очень далеки от применения результативных научных подходов. Надо еще многому учиться в данном направлении – умно применять математику, т.е. учиться искусству работы с математикой. Вне всяких сомнений, будущее – за математикой. Математика – вершина наших познаний. Для этого необходимо все технические решения, принимаемые при проектировании любого технического объекта, подвергать серьезному математическому анализу. Тогда будут конкурентно способными и комбайны, и самолеты, и стиральные машины.

Были случаи, когда при создании научной разработки, казалось бы, испробовано всё, все практические приемы, а результата нет. Тогда в который раз опять и опять берешься за математику, за формулы и в конце концов приходишь к ожидаемому решению – выход найден!

Чрезвычайно важной задачей в связи с этим следует рассматривать перестройку учебного процесса в технических ВУЗах. Высшее образование должно ассоциироваться с высшей математикой. Все курсы технических дисциплин необходимо изучать на уровне высшей математики. Учебники должны начинаться и заканчиваться решениями с использованием высшей математики. Этим мы сможем отделить профтехобразование от настоящего высшего технического образования и подготовить специалистов, способных создавать научно-технический прогресс.

Большую помощь в решении технологических задач нам оказал проф. Якимов А.В. Это он заставил нас посмотреть на разрабатываемые технологии алмазного шлифования с позиций специальности технологии машиностроения (как правило, мы рассматривали их с позиций специальности процессов обработки). Это дало возможность выработать новые подходы и требования к практическому использованию разработок и поставить их внедрение на промышленную основу.

К сожалению, с распадом СССР и падением объемов производства, спрос на нашу продукцию существенно снизился. Однако мы большие оптимисты и верим в то, что придет время, когда добытый многолетний опыт разработки наукоемких технологий будет востребован сполна. Та активность, с которой проходят наши конференции, является самым мощным тому подтверждением. Наша задача – беречь и приумножать этот опыт, подерживая тесные научные связи с коллегами из России и других государств.

НАУЧНАЯ ШКОЛА АКАДЕМИКА ФИЛИПОВА АНАТОЛИЯ ПЕТРОВИЧА

На традиционных Международных конференциях «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» широко представлены известные научные школы. Не только на Украине, но и за рубежом пользуется известностью научная школа в области динамики и прочности машин, которая была основана выдающимся ученым академиком НАН Украины, Заслуженным деятелем науки и техники Украины, лауреатом Государственной премии Украины в области науки и техники Анатолием Петровичем Филипповым. Он стоял у истоков создания Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины и кафедры динамики и прочности машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». А.П. Филиппов был одним из пионеров широкого использования



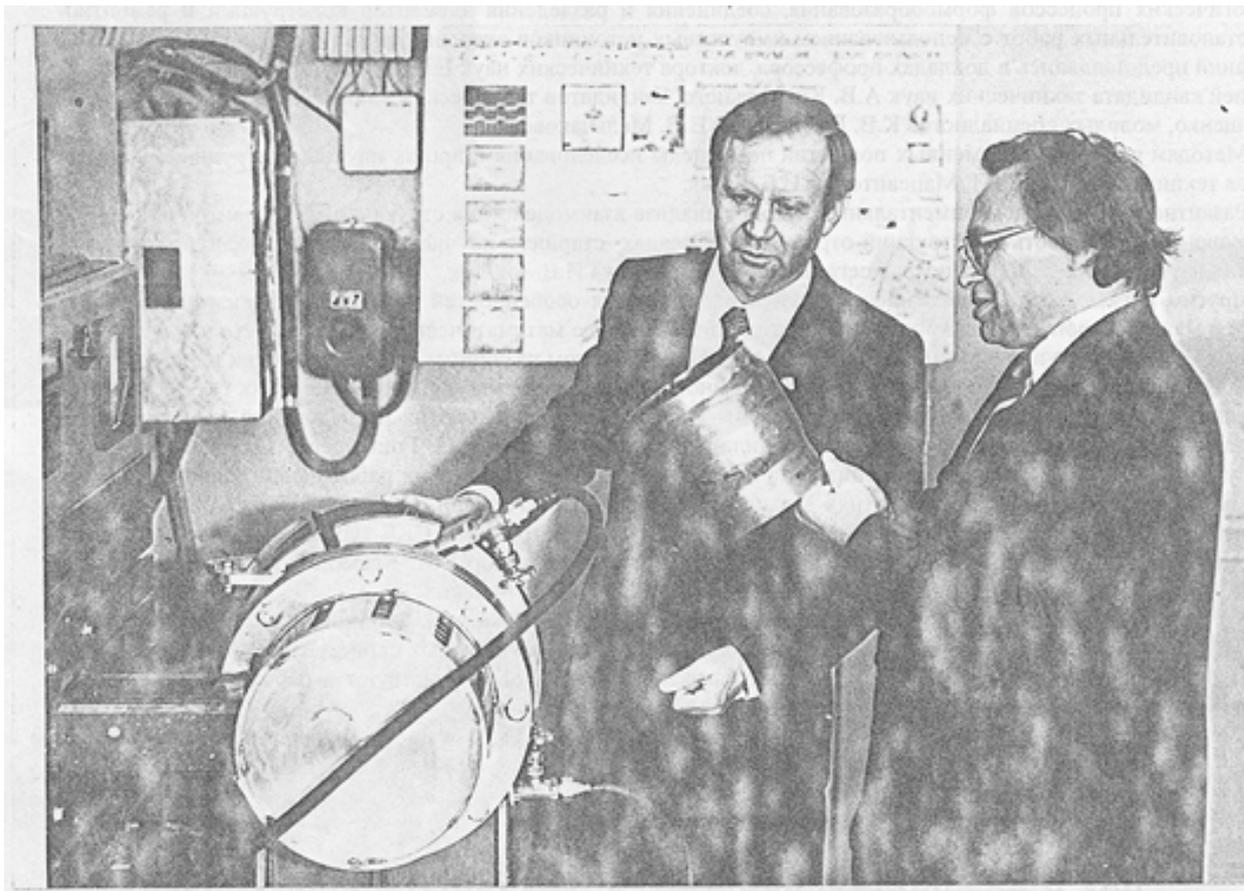
Академик Филиппов А.П.

численных методов и вычислительной техники для решения задач прочности в машиностроении и строительстве. Многие его ученики создали перспективные научные направления, в которых развиваются основы, заложенные А.П. Филипповым. Для школы А.П. Филиппова характерным является сочетание аналитических, численных и экспериментальных методов. В последние годы своей жизни он возглавил отдел нестационарных механических процессов ИПМаш НАН Украины, из которого вышли многие известные ученые.

Ныне этим отделом руководит его ученик профессор, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники Ю.С. Воробьев, который является членом программного комитета данной конференции.

Сотрудники отдела являются постоянными участниками конференции и представляют два основных направления научных исследований в отделе. Одно связано с изучением особенностей скоростного деформирования элементов конструкций при ударных и импульсных нагрузках. Исследования ведутся как аналитическими и численными методами, так и экспериментально на уникальных установках, позволяющих определять динамические свойства материалов и поведение элементов конструкций при ударных нагрузках.

Результаты этих фундаментальных исследований имеют большое практическое значение не только для обеспечения динамической прочности современных конструкций, но и для совершенствования высокоэффективных тех-



Зав. отделом проф., д.т.н. Воробьев Ю.С. и зав. лабораторией к.т.н. Колодяжный А.В. возле экспериментальной установки для магнитоимпульсной листовой штамповки с глубокой вытяжкой деталей оболочечного типа.

Постоянные участники наших конференций



нологических процессов формообразования, соединения и разделения элементов конструкций и ремонтно-восстановительных работ с использованием импульсных источников энергии. Различные аспекты этих исследований представлялись в докладах профессора, доктора технических наук Е.Г. Янютина, заведующего лабораторией кандидата технических наук А.В. Колодяжного, кандидатов технических наук М.В. Чернобрышко и В.Г. Ярещенко, молодых специалистов К.В. Вакуленко и Н.В. Мельчаковой.

Методам вакуумно-плазменных покрытий посвящены исследования старших научных сотрудников, кандидатов технических наук В.М. Мацевитого и И.Б. Казак.

Развитие расчетно-экспериментальных методов анализа взаимодействия структурных элементов на процесс разрушения и прочность конструкций отражены в докладах старшего научного сотрудника, кандидата технических наук М.Б. Милешкина и младшего научного сотрудника И.В. Библик.

Другим актуальным направлением являются исследования особенностей колебаний сложных систем элементов машиностроительных конструкций. Разработаны трехмерные математические модели и методы анализа колебаний лопаточного аппарата паровых и газовых турбин с учетом различных технологических и эксплуатационных факторов, динамического выявления особенностей напряженно-деформированного состояния, области локализации вибрационных напряжений и пути их снижения. Результаты этих исследований представлены в докладах старшего научного сотрудника, кандидата технических наук В.П. Гошкодери, младшего научного сотрудника А.Н. Цыбы, молодого специалиста Е.В. Тишковец. Результаты этих работ нашли широкое внедрение на турбостроительных предприятиях Украины, России, Чехии, Польши. Поэтому соавторами докладов в области колебаний лопаточного аппарата турбомашин являются сотрудники СКБ турбоиспытателей (г. Пенза) – председатель совета директоров В.А. Потаник и ведущий конструктор В.А. Касьянов, а также сотрудники ООО «Шкода-Энерго» (г. Пльзень) – ведущий группы Л. Тайч и М. Турински.

Участники конференции, принадлежащие к научной школе академика А.П. Филиппова, успешно развивают перспективные научные направления в области анализа и синтеза прочностных свойств систем элементов конструкций при вибрационных и нестационарных нагрузках. Они активно участвуют в работе конференции и пропагандируют ее за рубежом.

Оргкомитет конференции

НАУЧНАЯ ШКОЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА «ФЭД»

Жданов А.А., генеральный директор, Фадеев В.А., главный инженер



Взгляд в будущее, определение ближайших и долговременных перспектив развития – это цели и мечты, помноженные на достигнутое. Лишь в полной мере оценив имеющийся потенциал – технический, кадровый, научный – возможно дальнейшее движение вперед. 2001 год – начало нового века, нового тысячелетия, для завода это начало динамичного развития производства, финансовой стабильности.

Если оглянуться всего на десятилетие назад, в 90-е годы прошлого столетия, предстанет картина незабываемая многими заводчанами: критическое состояние украинской экономики и завода в частности. Процесс реформирования экономики затронул практически каждое предприятие. Многие из них оказались убыточными, нерентабельными, банкротами. Свежи в памяти приметы того времени: неплатежи, ограниченность оборотных средств, падение спроса.

Неизвестно, что было бы с ФЭДом – ведь завод испытал на себе все названные трудности во много раз усугубленные конверсией – если бы руководство завода, его команда не была уже тогда нацелена на перспективу. Было определено приоритетное направление развития, выбрана правильная рыночная ориентация. Несмотря на все трудности, завод работал над освоением конкурентоспособной продукцией и развитием производственной базы. В поисках выхода из сложнейшей ситуации коллегиально принимались судьбоносные для завода решения, порой непопулярные и неординарные, но с глубокой подсознательной уверенностью в успехе. Смелость и взвешенность – два крыла, на которых строились оптимистические прогнозы, которые, как показала жизнь, себя оправдали.

Позитивизм мышления помноженный на умелые действия руководства, квалификацию специалистов, упорную работу всего коллектива помогли ФЭДу сохранить свой профиль, уникальное производство, перспективу развития. Кроме того, завод и объединение, преодолев стрессовый период всеобщих разделов и обособленности, названный как парад суверенитетов стран бывшего Советского Союза, осознали необходимость объединения и совместной работы.

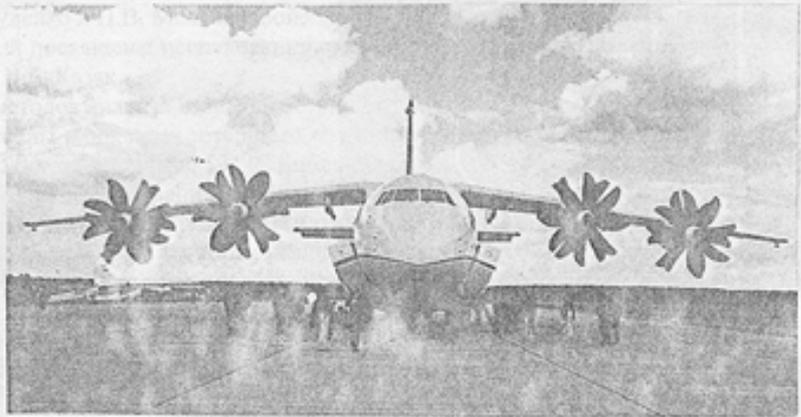
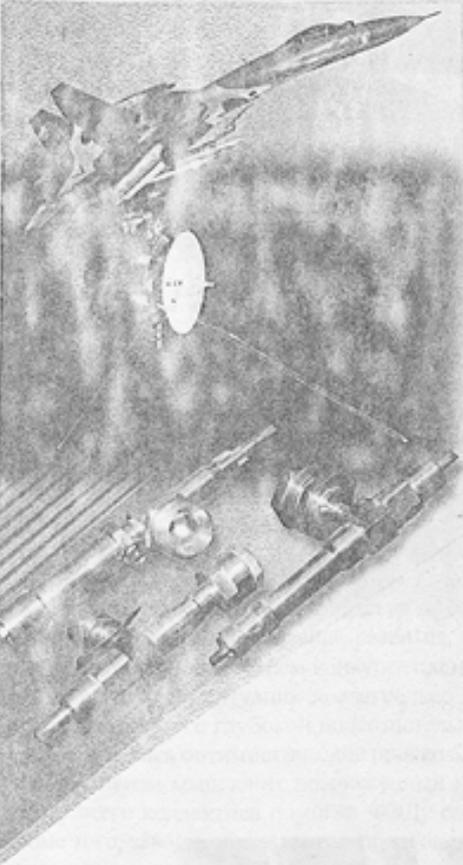
Была создана корпорация ФЭД, куда вошли Харьковский машиностроительный завод ФЭД, Волчанский агрегатный завод, Первомайский машиностроительный и собственный разработчик – Харьковское агрегатно-конструкторское бюро. Корпорация заявила о себе как ведущая фирма авиационного агрегатостроения стран СНГ. Главное направление деятельности – проектирование, производство, сервисное обслуживание и ремонт агрегатов аэрокосмического профиля – осталось приоритетным. Сюда добавились разработки общемашиностроительного применения.



Предприятие является поставщиком агрегатов для всех авиастроительных фирм и авиаремонтных предприятий СНГ, наращивая объем товарного выпуска и реализации, начиная с 1995 года.

Первый год третьего тысячелетия стал трамплином в поиске, выработке и воплощении новых идей и подходов в развитии завода. Именно в этом году удалось достичь наибольшей динамики производственных показателей. Темп роста объемов производства составил 140,8 %, а реализация товарной продукции достигла 153,9 %. Именно на первый год нового тысячелетия была поставлена задача резко увеличить объемы производства и реализацию продукции для устойчивой работы в будущем. Высокие технико-экономические показатели года – итог большой и кропотливой работы по освоению и серийному производству новых изделий, а также поиску новых рынков сбыта. Именно в 2001 году осваивались десять новых сложных изделий для авиации, железной дороги и других объектов. На освоение новых изделий завод израсходовал полтора миллиона гривен собственных средств. Были проведены важные инженерно-технические и организационно-экономические мероприятия по обеспечению высоких темпов развития, совершенствованию системы управления на заводе.

В этом вновь проявилась нацеленность на будущее. Как внедрение системы качества на базе МС серии ISO-9000, позволившей получить сертификаты качества AP МАК и «Укравиатранса» на производство и ремонт авиационной техники, так и начало внедрения системы АСУП «ФЭД» «Галактика».



Новое поколение самолетов АН-70.

С прицелом на будущее в 2001 году были начаты работы по реконструкции, техническому перевооружению, внедрению новой техники, прогрессивных технологий и модернизации оборудования в гальваническом, литейно-термическом, сборочном, инструментальном, металлообрабатывающих производствах. Руководство предприятия, оценивая высокий уровень и сложность выпускаемых и намеченных к освоению изделий, понимает жизненную необходимость постоянного совершенствования технологии и организации производства.

Именно в 2001 году, учитывая возрастающую стабильность работы последнего пятилетия, была создана основательная материальная и социальная база для дальнейшего развития предприятия, проведена экономическая, техническая, производственная и социальная оценка его потенциальных возможностей. Контрольные цифры и меры по их достижению нашли отражение в бизнес-плане на будущее.

Авиационная промышленность – единственная отрасль Украины, которая имеет достижения на уровне мировых стандартов. Очень важно, для заводов с таким потенциалом как ФЭД, что руководство страны определилось с приоритетами. Выделяются деньги на строительство первых самолетов АН-70 для ВВС Украины и фактически начато серийное производство АН-140. И если до сегодняшнего дня авиационный комплекс страны развивался в основном за счет внутренних инвестиций и при этом сохранил лидирующие позиции не только в СНГ, но и в мире, то поддержка государства заметно увеличит его темпы развития.

Важной задачей является интеграция в мировую авиа космическую отрасль. Необходимы усилия всех заводских служб: инженерных, производственных, экономических, сбыта – в решении задач, связанных с созданием предприятия, соответствующего мировым требованиям к организации управления производством, разработками, системой качества.

Имея достигнутое – умножь его и иди дальше. Этот принцип в полной мере реализуется на ФЭДе. Поэтому на перспективу поставлена задача сохранить лидирующее положение в производстве гидроприводов, освоить агрегаты нового поколения (ГП-25, ГП-26, ГП-31, ГП-34 и т.д.), а также генераторы. Необходимо сохранение и развитие позиций на рынке топливо-регулирующих агрегатов. Освоение САУ-2000, НД-450, НР-3ВМТ должно стать переходным этапом к агрегатам следующего поколения.

Изготовление гидромоторов, насосных станций, гидроприводов в будущем должно играть важную роль и иметь



Вертолет Ми-28Н

вертолета КА-228.

С целью автоматизированного проектирования конструкторско-технологических работ, освоения компьютерного моделирования и анализа на заводе разработана программа по внедрению интегрированной системы подготовки производства.

Внедрение информационных технологий по требованиям стандартов ISO позволит предприятию остаться на уровне современных требований международного разделения труда и работать в едином мировом информационном пространстве ИНТЕРНЕТ.

Ни одно подразделение на заводе не избежит модернизации системы управления на базе бурно развивающихся компьютерных технологий.

Принята программа внедрения энергосберегающих технологий и оборудования реализация которой в будущем позволит не только снижать затраты и потери в производстве, но и улучшить экологическую обстановку.

Критерием оценки реализации данной программы будет удельный расход энергоресурсов на единицу продукции. Снижение расхода ресурсов в 3-4 раза на единицу продукции позволит нам выйти на мировой уровень. Необходимым условием для достижения данной цели является внедрение системы энергетического и экологического менеджмента в соответствии со стандартами ISO.

Условия рынка меняют подход и психологию людей и коллектива в целом. Новые рыночные законы потребовали от производства сокращения сроков освоения, выпуска продукции мелкими партиями, соответствия качеству по международным стандартам. Потребовалось обновление основных фондов, станочного оборудования, которое шло в двух направлениях: модернизация имеющихся станков и приобретение нового высокоточного оборудования. Внедрение высокоточного оборудования с элементами АСУ ТП, позволяющее сократить циклы производства за счет сокращения операций и снижения влияния человеческого фактора.

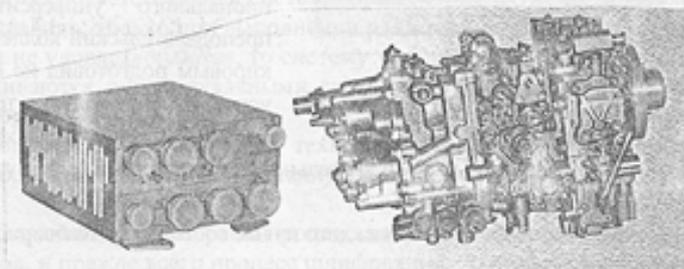
Данное направление будет охватывать применение новейших многоцелевых станков с активным контролем и повышенной точности, прецизионных станков для финишных операций и станков с применением физических процессов таких как лазер, прожиг.

Применение высокопроизводительного оборудования нового поколения поставило задачу модернизации инструментального производства с целью изготовления нового износостойкого и высокоточного инструмента. Применение новых материалов и защитных покрытий на инструменте позволят выполнить поставленные задачи.

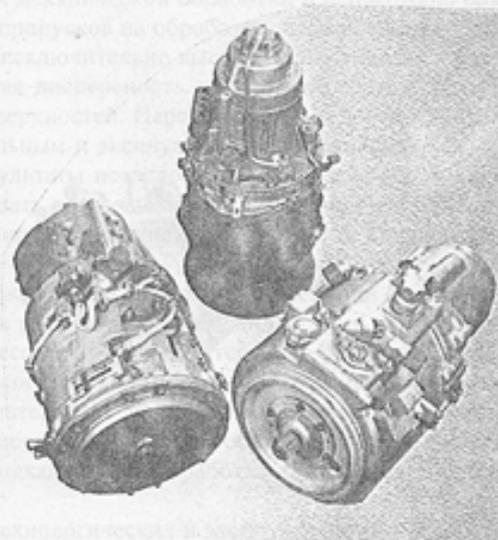
значительные объемы производства, исходя из многолетнего опыта работы в этом направлении.

Открываются широкие возможности в относительно новом для завода направлении: производстве исполнительных механизмов и приводов. Это и освоенный РМ-140 и перспективные МПК-14У, ЭПК-35 и др., а также перекрывные краны, заслонки и другие механизмы, широко используемые в авиации.

Итак, приоритетными и традиционными для завода остаются агрегаты для авиации, но уже в модернизированном виде. Запланирован выпуск изделий для нового поколения самолетов АН-70, АН-140, ТУ-334, ТУ-324, ТУ-204. Мы с надеждой ждем взлета украинского



САУ-2000 для винтомоторной силовой установки самолета АН-140: НР-2000, РТ-2000



Интегральные приводы-генераторы второго поколения: ГП-21, ГП-22, ГП-23

Обеспечение заданных качественных параметров изделий будет обеспечиваться благодаря расширению применения современных контрольных приборов и измерительных средств, типа универсальных измерительных машин.

Импульс нового возрождения получит применение вакуумных технологий и различных видов сварки. Планируется внедрение новых гальванических процессов с применением безцианистых растворов и широкое применение защитных покрытий оснастки на базе «Тегумит».

Все это невозможно будет внедрить без тесного и широкого сотрудничества с ведущими научно-исследовательскими и учебными институтами и центрами. Активное участие специалистов ХПИ, ХАИ, УкрНИИАТ и других научных центров позволят заводу оставаться на мировом техническом уровне.

Завод постоянно сотрудничает с ведущими высшими учебными заведениями города – Харьковским национальным аэрокосмическим университетом «ХАИ» (ректор – Владимир Станиславович Кривцов), Харьковским национальным техническим университетом «ХПИ» (ректор – Леонид Леонидович Товаяжянский), Харьковским государственным экономическим университетом (ректор – Владимир Степанович Пономаренко).

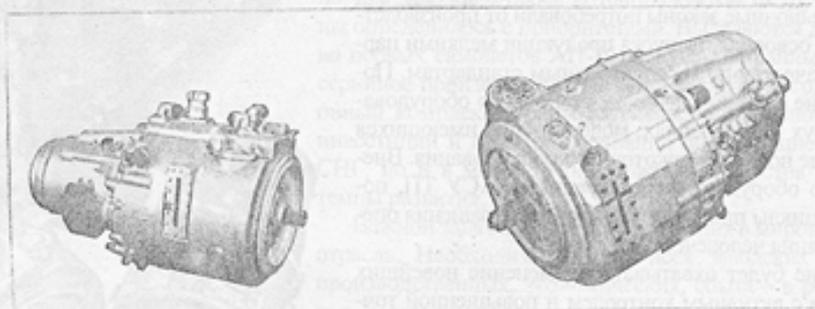


Сертификат "Bureau Veritas Quality International"

Поэтому традиционно в своей деятельности предприятие делает упор на то, что основным звеном в производственном процессе является человек.

Как важно, чтобы судьба каждого из нас состоялась, чтобы работа приносила удовлетворение и материальное благополучие.

Взгляд в будущее предприятия – это мечта помноженная на знание, профессионализм и четкий расчет.



Интегральный привод-генератор
ГП-25 на 60 кВт

Интегральный привод-генератор
ГП-26 на 90 кВт

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА ХУДОБИНА ЛЕОНИДА ВИКТОРОВИЧА

Вопросы сбережения продуктов труда и рационального их расходования в сферах производства и потребления готовой продукции всегда были приоритетными для человечества. Исходя из этого вечного постулата, с учетом структуры и производственного потенциала промышленности Ульяновского и многих других регионов России определилось научное направление кафедры «Технология машиностроения» Ульяновского государственного технического университета – «Разработка научных основ ресурсосберегающих экологизированных технологий машиностроения» (научный руководитель – Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Л.В. Худобин). Под флагом этого научного направления формировался научно-педагогический коллектив кафедры и создавалась соответствующая научная школа.

С 1964 года кафедра сосредоточила свои основные усилия на решении проблемы создания высокоэффективных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) – искусственных сред, вводимых в зону механической обработки и оказывающих, как правило, существенное положительное влияние на работоспособность режущего инструмента, качество обработанных деталей и производительность обработки. Первоначально приоритетной задачей ставилось создание отечественного ассортимента основной разновидности СОТС – смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Затем кафедра развернула параллельно работы по созданию технологий и техники рационального применения водных и масляных СОЖ на операциях механической обработки заготовок из металлических и иных материалов. В 1971 – 1990 годах эти работы выполнялись в соответствии с постановлениями Госкомитета Совмина СССР по науке и технике. В дальнейшем, когда СОЖ стали неотъемлемым элементом технологического обеспечения операций механической обработки, обострилась актуальность экологической и технической задачи защиты окружающей среды от загрязнения отработанными СОЖ и продуктами их разложения. В связи с этим были разработаны новые ресурсосберегающие экологизированные технологические процессы применения СОЖ в машиностроении и металлургии, новые высокоэффективные схемотехнические решения принципиально новой технологии и техники применения СОЖ, обеспечивающие бессточную эксплуатацию СОЖ в течение длительного периода времени – до одного года и даже более.

Максимальный эффект от применения СОЖ в производстве может быть обеспечен лишь при оптимальном функционировании всех операций технологического процесса применения СОЖ. Реализация такого экологически чистого, безотходного процесса путем создания соответствующей системы применения СОЖ представляет собой весьма сложную задачу и оправдана, как правило, только при выполнении ряда технических, экономических и экологических условий. Если эти условия не удовлетворяются, то систему упрощают, исключая отдельные операции, а в простейшем случае ограничиваются индивидуальными системами, обслуживающими отдельный станок или другую технологическую систему.

Естественно, для решения проблемы создания экологически чистых технологий и техники бессточного, ресурсосберегающего обеспечения металлообрабатывающих и металлургических производств СОЖ необходимо солидное научное обеспечение.

В качестве основного объекта научных исследований были выбраны процессы абразивной обработки, в том числе инструментами их сверхтвердых материалов, и прежде всего процесс шлифования. Этот выбор диктовался следующими особенностями этих процессов и соответствующих операций: подавляющее большинство показателей качества деталей формируется на заключительных, наиболее ответственных операциях технологических процессов их изготовления, выполняемых, как правило, с помощью абразивных инструментов; удельный вес этих операций достигает (30 – 40) % от всего объема операций механической обработки и непрерывно возрастает в связи с улучшением качества заготовок и уменьшением припусков на обработку; весьма высокие, как правило, скорости взаимодействия объектов процесса обработки; исключительно высокая тепловая напряженность и большая энергоемкость абразивной обработки; тонкая дисперсность отходов обработки, загрязняющих СОЖ; высокие требования к качеству обработанных поверхностей. Перечисленные и другие особенности обуславливают столь же высокие требования к функциональным и эксплуатационным свойствам СОЖ, технологии и технике их применения. Учитывали также, что результаты исследований процессов абразивной обработки и прикладные разработки можно в принципе использовать для повышения эффективности СОЖ на операциях обработки заготовок режущими лезвийными и деформирующими инструментами, где вопросы выбора и применения СОЖ решаются значительно проще.

Разработанные кафедрой научные основы создания экологически чистых технологий и техники бессточного, ресурсосберегающего обеспечения промышленных производств технологическими жидкостями включают:

1. Результаты исследований механизмов действия СОЖ в процессах обработки материалов резанием, исследований физико-механических и физико-химических основ влияния составов и техники применения СОЖ на основополагающие критерии и показатели процессов обработки материалов абразивными и лезвийными инструментами. Объектами исследований явились все современные методы абразивной обработки, скоростное и силовое шлифование, шлифование эластичными инструментами, механическая обработка лезвийными инструментами.

2. Комплекс методик, методов, приборов, стендов для оценки технологических и эксплуатационных свойств и чистоты СОЖ, результаты многолетних системных испытаний новых отечественных и зарубежных СОЖ,

3. Комплекс моделей процессов шлифования и правки с применением СОЖ:

- математические модели гидродинамической силы и расхода СОЖ в зоне контакта абразивного инструмента и заготовки, а также сил микрорезания;

- теплофизические модели влияния СОЖ на контактные температуры, физико-математические модели процессов теплообмена в алмазе, связке и корпусе правящего инструмента, в шлифуемой заготовке, а также в шлифовальном круге как в сплошной среде и как в капиллярно-пористом теле с фильтрующей жидкостью, математические модели тепловых процессов при шлифовании клиновидных и тонкостенных заготовок;

- математические модели сил резания при абразивной обработке и правке шлифовальных кругов;

- математические модели формирования высотных параметров шероховатости шлифованной поверхности, учитывающие смазочное и демпфирующее действия и загрязнение СОЖ механическими примесями;

- математическая модель режущей способности шлифовального круга, позволяющая оценить изменение производительности шлифования в связи с варьированием составом СОЖ;

- физические модели формирования пограничных воздушных потоков около вращающегося шлифовального круга и математические зависимости для расчета скорости движения этих потоков;

- физико-математические модели движения СОЖ в поровом пространстве абразивного инструмента, в том числе с наложением на СОЖ ультразвуковых колебаний.

Перечисленные модели в совокупности создают научные основы проектирования высокоэффективной подачи СОЖ в рабочее пространство станков, работающих абразивными инструментами, и непосредственно в зону контакта инструмента с обрабатываемой заготовкой, а также проектирования высокопроизводительных технологических операций бездефектной абразивной обработки заготовок практически из любых материалов с оптимальным применением СОЖ.

4. Комплекс моделей функционирования технологической системы на операциях обработки заготовок резанием, включающий:

- математическую модель изменения свойств СОЖ, находящихся в функционирующей технологической системе, под действием возмущающих факторов процесса механической обработки;

- математическую модель функционирования технологической системы на операциях механической обработки с учетом изменяющихся свойств СОЖ и параметров качества обработанных деталей;

- математические модели для определения текущих значений концентрации и дисперсного состава механических примесей в СОЖ и концентрации основных компонентов СОЖ.

Эти модели позволяют оценивать структуру СОЖ в любой момент функционирования технологической системы, рассчитывать выходные параметры технологической операции, выполняемой с применением СОЖ, оптимизировать параметры и режимы эксплуатации систем применения СОЖ, прогнозировать долговечность СОЖ, обеспечивают расчет систем применения СОЖ и их элементов на всех стадиях проектирования.

5. Материалы аналитических и экспертных исследований в области применения энергетических воздействий для физико-химической активации СОЖ и защиты ее от биопоражения. Предложен ряд физических и математических моделей, позволяющих оптимизировать параметры постоянных и переменных магнитных полей, используемых в технике очистки СОЖ от механических примесей, а также параметры ультразвуковых колебаний, используемых в новой технике подачи СОЖ.

6. Материалы экспертных исследований методов обеззараживания, регенерации, разложения и утилизации отработанных СОЖ и ОКР в этой области.

В последнее десятилетие развернуты исследования и опытно-конструкторские работы в области применения при механической обработке твердых и пластичных СОТС. Одним из выходов этих работ явилось создание, научное и технологическое обеспечение проектирования, изготовления и применения нового вида абразивных инструментов – композиционных шлифовальных кругов, обеспечивающих во многих случаях существенное повышение производительности бездефектного шлифования и экологическую безопасность производства.

Результаты выполненных кафедрой исследований, ОКР, промышленных испытаний и внедрений, обобщения опыта отечественного и зарубежного машиностроения открыли возможность разработки научно-обоснованных рекомендаций по выбору и рациональному применению СОТС на операциях механической обработки. Эти рекомендации вошли в многочисленные монографии, справочники и справочные пособия, девять отраслевых руководящих материалов, методические рекомендации и инструкции. В последние годы кафедра вышла на разработку Государственных стандартов России, три из которых введены в действие.

Творческий коллектив имеет более 300 авторских свидетельств и патентов на изобретения в области создания СОТС, технологий и техники их применения. Это, в частности, комплекс способов абразивной обработки и подачи СОЖ, ряд составов СОЖ и аппаратура для их испытаний, устройства для очистки СОЖ и подачи ее в зону обработки, энергетической активации СОЖ, комбинированные и композиционные шлифовальные круги, элементы систем применения СОЖ и др.

Промышленной реализации научных разработок по проблеме СОТС способствует созданная в УлГТУ научно-производственная компания «Волга-Экопром», активно продвигающая на рынок новые ресурсосберегающие экологизированные технологии и технику применения СОЖ, в особенности установки серии «Вита», обеспечивающие: циркуляцию СОЖ в замкнутом цикле, включая подачу ее к технологическому оборудованию, аккумуляцию загрязненных СОЖ и очистку их от механических и иных примесей; восстановление и разложение отработанных СОЖ; рекуперацию масла и воды из отработанной СОЖ; переработку водо-, масло- и металлосодержащих отходов. Новая техника применения СОЖ функционирует на двадцати крупнейших машиностроитель-

ных и металлургических предприятиях России. Подтвержденный годовой эффект от использования разработок в промышленности превысил 3 млн. долларов США, а объем продаж составляет 6,5 млн. долларов.

Ресурсосберегающие экологизированные технологии и техника применения СОЖ удостоены международного признания, золотых и серебряных медалей и дипломов на Международных промышленных выставках в Брюсселе в 2000 и 2001 годах и на Международном Салоне изобретений в Париже в 2001 году.

Область научных интересов кафедры не ограничивается проблемой СОТС. На кафедре проводятся исследования ресурсосберегающей технологии электроэрозионной обработки, разрабатываются новые абразивные инструменты, устройства для микроподачи заготовок, методы и средства текущего контроля состояния шлифовальных кругов и др.

В рамках разрабатываемого научного направления подготовлены и защищены 5 докторских и более 60 кандидатских диссертаций.

Оргкомитет конференции

НАУКОВА ШКОЛА ПРОФЕСОРА ГРИНЬОВОЇ ВАЛЕНТИНИ МИКОЛАЇВНИ

Валентина Миколаївна Гриньова, доктор економічних наук, професор ХДЕУ, академік економічної академії України, активний учасник та організатор постійно діючої конференції “Фізичні та комп’ютерні технології”, керівник економічної секції

Гриньова Валентина Миколаївна закінчила машинобудівний факультет Харківського інженерно-економічного інституту в 1965 році з відзнакою. Весь творчий шлях вона пройшла в цьому навчальному закладі, який у 1994 році було перейменовано на Харківський державний економічний університет. Свій шлях як ученого В.М. Гриньова почала в науково-дослідницькій лабораторії Харківського інженерно-економічного інституту після його закінчення.



В 1974 році вона захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук, а в 1989 році – доктора економічних наук. Її наукові інтереси були пов’язані з вдосконаленням організації допоміжних виробництв підприємств машинобудівної промисловості, організації підготовки виробництва нової продукції машинобудування, функціонально-вартісного аналізу, вдосконалення господарчого механізму, розвитком бізнесу та підприємництва. За цими напрямками дослідження нею створено наукову школу. Серед її учнів 5 докторів і 38 кандидатів економічних наук.

Значна кількість досліджень В.М. Гриньової пов’язана з реалізацією міжвузівської науково-технічної програми “Організація машинобудівного виробництва”, яка виконувалась у відповідності з завданням Державного Комітету по науці та техніці колишнього СРСР і членом Координаційної ради якої В.М. Гриньова була понад 20 років. За цими напрямками нею опубліковано понад 280 наукових праць, в тому числі 15 монографій.

Великого значення В.М. Гриньова надає підготовці економічних кадрів вищої кваліфікації, є членом спеціалізованої вченої ради по захисту докторських і кандидатських дисертацій, нею пропонуване понад 100 дисертацій, поданих на здобуття наукового ступеня доктора та кандидата економічних наук. Працюючи спочатку викладачем, доцентом, а потім професором, В.М. Гриньова велику увагу

завжди приділяє вдосконаленню навчального процесу. Вона є автором понад 150 методичних розробок, в тому

числі 12 навчальних посібників.

За досягнення в педагогічній роботі В.М. Гриньову нагороджено нагрудними знаками “За отличные успехи в работе в области высшего образования” (1981), “Відмінник освіти України” (1995). З вересня 2000 року В.М. Гриньову призначено проректором з наукової роботи Харківського державного економічного університету. Вона користується заслуженим авторитетом і повагою в колективі університету, їй притаманні енергійність, працездатність, цілеспрямованість, вимогливість до себе та підлеглих.

Оргкомітет конференції

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КАФЕДРЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ХАРЬКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент Крюк Анатолий Григорьевич руководит комплексной научной темой: “Повышение эффективности машиностроительного производства в результате разработки и внедрения новой прогрессивной технологии производственных процессов”, а также занимается научными разработками по производству профилей повышенной жесткости, имеющих важнейшее народнохозяйственное значение в области экономии металлов.

Дудко Петр Дмитриевич избран в 1996 году профессором кафедры и почетным профессором Харьковского университета радиоэлектроники. Будучи научным руководителем, через аспирантуру подготовил ряд научных работников, из которых Назаров Юрий Федорович, Невлюдов Игорь Шакирович и Рубан Виктор Михайлович имеют степени докторов наук. Среди выполненных научных исследований имеют особое значение разработки в области финишных процессов для изготовления деталей космической техники и зеркал для лазеров повышенной мощности.

Старший преподаватель Шкурупий Валентин Григорьевич – разработчик технологического процесса изготовления упругих штырей, которые нашли применение на спутниках специального назначения.

Кандидаты технических наук, доценты Савченко Николай Федорович и Чистяк Владимир Григорьевич занимаются научными исследованиями процессов импульсной обработки материалов. В частности, листовой штамповкой и выполнением соединений конструкций при сборке.

Последнее время актуальными оказались вопросы ликвидации последствий аварий и других техногенных катастроф. Поэтому разработаны гибкие технологические системы предупреждения и ликвидации аварий (ГТС ПЛА). При этом предлагается мобильное и универсальное оборудование и технологии с целью снижения опасности функционирования современных комплексов для переработки материалов, преобразования одних видов энергии в другие, а также для повышения безопасности транспортных, информационных и других систем.

Основное достоинство: возможность встраивания ГТС ПЛА как многофункциональных устройств непосредственно в зоне возникновения аварии с целью ее устранения на ранних стадиях возникновения.

В предлагаемых разработках содержится: малогабаритный огнетушитель для сейфов и коммуникационных устройств; лифт с устройством аэродинамического торможения; вакуумные камеры (с возможностью использования и как холодильные устройства ограниченного действия); малогабаритные контейнеры с энергоносителями для создания интенсивных потоков комбинированных сред.

Область применения разработок: энергетика, банки, химическая и нефтеперерабатывающие отрасли, резервуары и танкеры с вредными и ядовитыми веществами.

Старший преподаватель Дитиненко Станислав Александрович занимается подготовкой кандидатской диссертации по актуальным вопросам алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов. Соединение богатого производственного опыта, приобретенного им за многие годы работы на заводе “ФЭД”, с опытом работы на кафедре позволяет надеяться, что результаты этой работы будут очень полезны в практическом и научном отношениях и востребованы в учебном процессе.

Кафедра активно участвует в организации и проведении наших конференций.

Оргкомитет конференции

НАПРЯМКИ НАВЧАЛЬНОЇ ТА НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ КАФЕДРИ “ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ” НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ “ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Євстратов В.О., докт. техн. наук

Перші згадування про спеціальність “Обработка металлов тиском” пов’язуються із серединою 20-х років, коли в рамках кафедри паровозобудування ХПІ професор П.М.МУХАЧОВ почав щорічно випускати інженерів з обробки металів тиском на замовлення харківських підприємств. Це було пов’язано з тим, що наукові інтереси Петра Матвійовича не обмежувались виключно паровозами: він був також визнаним спеціалістом у галузі обладнання для обробки металів тиском, а його друковані наукові праці “Молоты и ковочные прессы” та “Прокатные

станы" не втрачали актуальності на протязі багатьох десятиліть.

Кафедру обробки металів тиском як самостійний підрозділ заснував в 1930 році її перший завідувач доцент ФЕЛЬДМАН Ілля Йосипович. Він очолював кафедру до 1959 року. За час його роботи кафедра значно розширилась. У відповідності із запитам виробництва тут почали готувати інженерів із трьох спеціальностей: 1) кування та штампування, 2) прокатування та волочіння, 3) механічного обладнання металургійних заводів.

В різні роки на кафедрі працювали визначні вчені, педагоги та керівники виробництва: доктор техн.наук, проф. ЖИВОВ Лев Іванович (автор трьох підручників із ковальсько-штампувального обладнання); доктор техн.наук, проф. КОСТІН Леонід Григорович (автор довідника з ОМТ); доцент ХОДОСКО Дмитро Лукич (засновник і перший начальник ковальського цеху ХТЗ; по війні був запрошений до ХПІ на посаду доцента та заступника декана факультету); канд. техн. наук, доц. ХМАРА Самуїл Мойсейович (також засновник і начальник ковальського цеху ХТЗ; а згодом завідувач кафедри; організатор першої та єдиної в Україні галузевої лабораторії "Твердосплавні штампи"); доктор техн. наук, проф. ЛОБАНОВ Віктор Костянтинівич (заступник начальника центральної лабораторії заводу ім. Малишева, заслужений винахідник СРСР, Лауреат Державної премії України); канд. техн. наук, проф. БОСІН Євген Євгенович (директор ХНТК, Академік УАН НП, який на протязі останніх 10 років очолює філіал кафедри ОМТ ХПІ).

В науково-дослідній діяльності кафедри ОМТ можна виділити такі основні етапи.

Перший був пов'язаний з пошуками власних напрямків та становленням НДР на кафедрі. В цей період під керівництвом першого завідувача кафедри доц. І.Й.Фельдмана виконувались роботи в різних напрямках ОМТ: дослідження технологічних процесів кування та штампування, прокатування та пресування, виливання та нагрівання заготовок; дослідження та удосконалення конструкцій пароповітряних штампувальних молотів, пресів, нагрівальних пристроїв та ін.

З 1959 року почався другий, суттєво інший етап. В цей час у промисловості СРСР усе гостріше стала відчуватись криза, пов'язана зі стійкістю штамів. Відгукуючись на цей запит, зав. кафедри доц. С.М.Хмара створив при кафедрі потужну галузеву науково-дослідну лабораторію "Твердосплавні штампи" (НДЛ ТШ) і став її науковим керівником. НДЛ ТШ була єдиною лабораторією такого роду в Україні. В ній за держбюджетного та госпдоговірного фінансування працювало біля 50 штатних наукових та інженерно-технічних співробітників, сумісників-викладачів та студентів-старшокурсників. Тут виконували повний цикл науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, виготовляли дослідні зразки твердосплавних штамів, випробували їх стійкість, передавали у виробництво. Це дозволило створити суттєво нові конструкції високостійких твердосплавних штамів, запровадити їх на десятках заводів Харкова, Мінська, Таллінна, Вільнюса, Риги, Горького і багатьох інших міст, де було зосереджено масове виробництво інструменту, машинобудівних і електротехнічних виробів. За результатами НДР та ДКР опубліковано 3 монографії, більш як 50 статей.

Третій етап почався з 1964 року, коли майже одночасно на трьох харківських заводах "Поршень", "Серп і молот" і "Велозавод" почали запроваджувати новий по тих часах процес холодного видавлювання поршневих пальців, штовхачів клапанів та складних деталей велосипеда. Цей процес мав безліч незаперечних переваг (майже безвідходне та високопродуктивне, повністю автоматизоване виробництво), але й суттєву ваду – низьку стійкість інструменту. З ініціативи тодішнього завідувача кафедри доц. С.М.Хмари на кафедрі була створена група викладачів та наукових співробітників, яка під керівництвом автора почала дослідження в новому напрямку "Оптимізація технологічних процесів холодного видавлювання та конструкцій штамів". Концентрація наукових сил і залучення до НДР на госпдоговірній основі працівників інших кафедр ХПІ дозволили виконати кілька фундаментальних піонерських науково-дослідних робіт. При кафедрі була створена галузева лабораторія холодного видавлювання (НДЛ ХВ), яка стала науковим центром СРСР із видавлювання. На базі НДЛ ХВ у ХПІ була організована Всесоюзна науково-технічна секція НТТ МАШПРОМ "Холодне об'ємне штампування і видавлювання".

Саме в НДЛ ХВ уперше в СРСР була системно розв'язана задача стійкості штамів для видавлювання, створені принципово нові процеси видавлювання (наприклад, деталей типу накидних гайок із різью) та конструкції високостійких штамів для їх виготовлення. Ці процеси та штампи були впроваджені у виробництво на заводах Харкова, Таллінна, Казані, Вільнюса, Шахт, Каменск-Уральська і багатьох міст, де було сконцентровано масове виробництво складних деталей інструментальної, автотракторної та електронної промисловості. За результатами НДР та ДКР у цій області було опубліковано 5 монографій, понад 100 статей, одержано близько 50 авторських свідоцтв, захищено докторську та 18 кандидатських дисертацій.

Багато уваги кафедра приділяла створенню навчально-методичної бази. Провідні викладачі: доценти І.Й.Фельдман, С.М.Хмара, В.П.Смолянінов, Г.І.Кирилов, В.І.Рудь, В.І.Кузьменко, О.О.Чегринец, професори Л.І.Живов та В.О.Євстратов – написали чотири підручники, десять навчальних посібників. Підручник В.О.Євстратова "Теория обработки металлов давлением" у 1985 році був удостоєний Золотої медалі ВДНГ СРСР та визнаний кращим підручником року у Харківському видавництві "Вища школа".

Кафедра готувала інженерів для багатьох зарубіжних держав. Більш як 100 випускників-іноземців працюють керівниками високого рангу в Китаї, В'єтнамі, Кореї, Болгарії, Німеччині, Угорщині, Польщі, Румунії, Чехії, Нігерії, на Кубі. Випускники кафедри Ву Зуй-Тхоай з В'єтнаму, Ма Сі Тен з Китаю, Еміл Костов з Болгарії, Андреас Муштер із Німеччини, Хамфрі Дуруджі Огбонна з Нігерії та інші захистили кандидатські дисертації, стали провідними вченими у своїх державах. Викладачі кафедри В.О.Євстратов, Г.І.Кирилов, В.І.Кузьменко, В.І.Рудь, В.П.Смолянінов виконували наукові програми в Канаді, на Кубі, в Угорщині, аспірант С.Д.Нестеров – в Австрії.

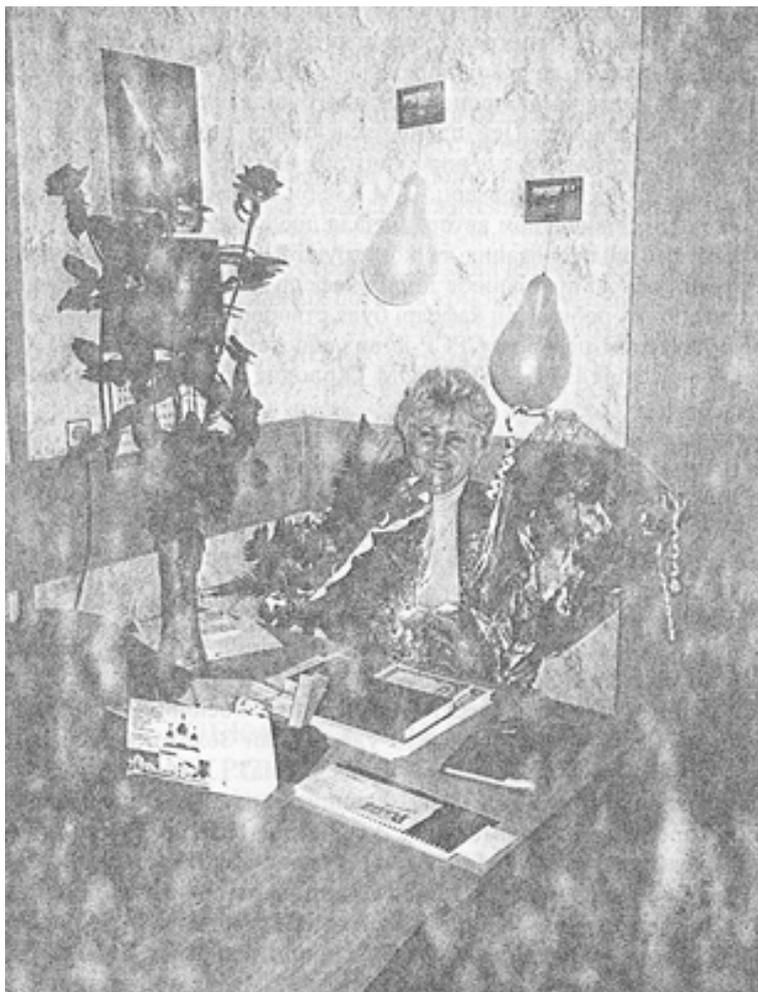
Сьогодні кафедра готує спеціалістів широкого профілю в напрямку технології обробки металів тиском, проектування штамів, конструювання і експлуатації обладнання для різних галузей народного господарства: машино- та верстатобудування, електроніки та електротехніки, хімічної та медичної промисловості, виробництва товарів народного вжитку, інших галузей в рамках спеціальності 7.090206 – Обладнання для обробки металів тиском, в тому числі за спеціалізаціями: 1) Машини і технологія обробки металів тиском; 2) Системи автоматизованого проектування в ОМТ.

По денній формі навчання випускаються дві групи студентів. Після чотирьох років навчання вони здобувають диплом бакалавра, після п'яти з половиною років – диплом інженера, а деякі, хто має додаткову глибоку теоретичну підготовку та виконує дослідницькі роботи, – дипломи магістрів. Кафедра має аспірантуру й докторантуру.

На кафедрі працює 4 професори й 4 доценти, які викладають 32 дисципліни, в тому числі: Теорія пластичної деформації; Технологія об'ємного штампування; Технологія листового штампування; Обладнання ковальсько-штампувальних цехів; Автоматизація та механізація технологічних процесів ОМТ; Системи автоматизованого проектування; Математичне моделювання і оптимізація в ОМТ; Науково-дослідна робота; Основи винахідництва тощо.

На базі навчально-методичного об'єднання спеціальності кафедра запропонувала нові високоефективні інформаційні технології навчання. Ця нова структура в рамках ХІІ об'єднує в одну “команду” викладачів кафедри ОМТ та всіх викладачів загальних кафедр, котрі ведуть навчання в групах спеціальності ОМТ. Така команда застосовує принципи так званого “резонансного виховання” та “педагогічного проектування”. Згадана структура має багато позитивних рис. Зокрема, вона дозволяє здійснити гуманізацію та гуманітаризацію навчально-виховного процесу.

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА ТИМОФЕЕВОЙ ЛАРИСЫ АНДРЕЕВНЫ



Тимофеева Лариса Андреевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой “Материалы и технология изготовления изделий транспортного назначения” Украинской государственной академии железнодорожного транспорта.

Является председателем специализированного ученого совета по специальности 05.02.01. – материаловедение Д64.059.01. Под ее руководством защищено 5 кандидатских диссертаций.

Основным научным направлением является разработка перспективных энергосберегающих экологически чистых технологий поверхностного упрочнения.

Опубликовано более 150 научных работ, около 30 патентов и авторских свидетельств.

Неоднократно выступает на международных конференциях по вопросам поверхностного упрочнения.

По результатам научных работ Тимофеева Лариса Андреевна удостоена звания лауреата Государственной премии Украины в области науки и техники, а

за учебно-воспитательную работу имеет звание отличника образования Украины.

Оргкомитет конференции

НАУКОВА ШКОЛА ПРОФЕСОРА КОЛОМІЙЦЯ ВОЛОДИМИРА ВОЛОДИМИРОВИЧА

Коломієць Володимир Володимирович, професор, доктор технічних наук, академік Транспортної академії України.

Народився 18 січня 1938 року в Черкаській області с. Руська Поляна.

Після закінчення середньої школи з 1955 по 1958 рік навчався в Харківському технологічному технікумі. З 1958 по 1961 рік – строкова служба в Збройних Силах.

У 1961 році вступив, а в 1966 році закінчив Харківський політехнічний інститут (ХПІ) за фахом інженер-механік. З 1967 по 1973 рік працював на Харківському приладобудівному заводі ім. Т.Г. Шевченка на посаді інженера інструментального відділу, першого секретаря комітету комсомолу заводу, інженера і старшого інженера відділу НОП.



З 1973 по 1975 рік навчався в аспірантурі при ХПІ і в 1975 році захистив кандидатську дисертацію.

З 1975 по 1977 рік працював старшим викладачем на кафедрі ВСТВ ХІМЕСГ. З 1977 по 1998 рік працював в Харківському автомобільно-дорожньому інституті на посадах старшого викладача, доцента, а з 1994 року професора кафедри технології металів та матеріалознавства.

У 1993 році у Київському політехнічному інституті захистив докторську дисертацію на тему: “Наукові основи теорії обробки неоднорідних наплавлених матеріалів”. Займався проблемою обробки важкооброблюваних матеріалів, в тому числі загартованих сталей, високоміцних чавунів, наплавлених і напилених деталей інструментами із полікристалічних надтвердих матеріалів на основі нітриду бора і створив загальнопризану школу по обробці матеріалів інструментами із ельбору-Р і кіборіту. Підготував 4 кандидатів технічних наук, в тому числі одного із Індії.

Коломієць В.В. є автором 200 наукових праць і 7 авторських свідоцтв на винахід з питань обробки металів різанням.

З 1998 року перейшов на роботу до Харківського державного технічного університету на посаду професора кафедри “Деталі машин та стандартизація”, де продовжує працювати над темами з удосконалення виготовлення і відновлення деталей сільськогосподарських машин інструментами із надтвердих матеріалів. Продовжує займатись підготовкою наукових кадрів: магістрів і кандидатів наук.

В 1997 році обраний дійсним членом (академіком) Транспортної Академії України, є членом Вченої Ради Університету і членом спеціалізованої вченої ради Д.64.832.016 при Харківському державному технічному університеті сільськогосподарства, а також членом координаційної ради з підготовки і проведення Міжнародних науково-технічних конференцій “Фізичні і комп’ютерні технології в народному господарстві”, м. Харків.

В 1998 році рішенням Ради Інституту електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України в другому виданні довідника “Вчені і спеціалісти України в області зварювання і споріднених технологій” вміщені особисті дані доктора технічних наук професора Коломієця В.В. як фахівця по темі “Теоретичні основи зварювання (металознавство), поверхнева обробка (наплавлювання, механічна обробка після наплавлювання). Підготовка кадрів”.

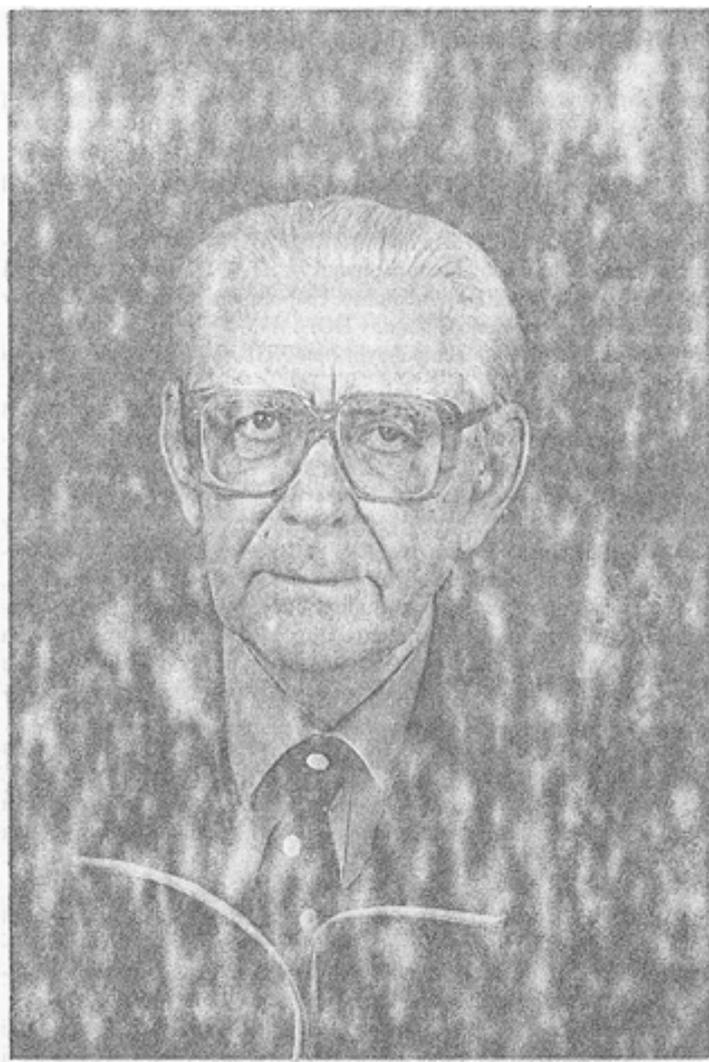
Оргкомітет конференції

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА СОЛНЦЕВА ЛЕОНАРДА АЛЕКСАНДРОВИЧА

Солнцев Леонард Александрович, профессор, кандидат технических наук, родился в 1926 году. Закончил Томский политехнический институт в 1948г. После окончания института в течении 4 лет работал на Томском электромеханическом заводе. Последняя должность Л.А. Солнцева на заводе – заместитель начальника цеха. В 1953 году поступил в аспирантуру по специальности 05.16.01. – Материаловедение и термическая обработка, которую закончил защитой диссертации “Некоторые вопросы неравновесной кристаллизации сплавов” в марте 1956г. В 1956 г. поступил на работу в Харьковский автомобильно-дорожный институт, где и работает по настоящее время, сначала ассистентом, затем доцентом, профессором.

За это время подготовил 6 монографий, учебных пособий, брошюр. Опубликовал более 350 научных трудов, часть из них переведена на немецкий, румынский, польский языки.

Научная деятельность Л.А. Солнцева в основном посвящена направлению “Улучшение структуры и свойств чугуна с шаровидным графитом с помощью легирования и термической обработки”. Эта проблема легла в основу научной школы Л.А. Солнцева. Под его руководством защищено с 1964г. По настоящее время 23 кандидатских диссертации, из которых 14 – по основному направлению: “Структура и свойства ВЧШГ”.



В этом же направлении Л.А. Солнцевым вместе с сотрудниками получено было 40 авторских свидетельств и патентов, опять же основная часть их посвящена совершенствованию свойств и технологии получения высокопрочного чугуна.

Л.А. Солнцев показал в своих трудах своеобразие процессов, происходящих в ВЧ при нагреве. Им предложено новое направление термической обработки этого чугуна – обработки из межкритического интервала (МКИ), особенно эффективна обработка из МКЧ при охлаждении на воздухе (нормализация из МКИ). Такая обработка позволяет понизить порог хладноломкости ВЧШГ с плюсовой температуры до $-70-90^{\circ}\text{C}$, повышая тем самым конструкционную прочность высокопрочного чугуна.

Работами Л.А. Солнцева с сотрудниками показана возможность горячего пластического деформирования чугуна с шаровидным графитом.

Много внимания уделено в трудах Л.А. Солнцева технологическим вопросам, в частности внутрiformенного модифицирования, вопросам литья деталей и ВЧШГ в кокиль. Это позволяет из одинаковой шихты получать чугун 3-4 марок. По этому направлению защищено 6 кандидатских диссертаций.

В настоящее время с помощью Л.А. Солнцева подготовлено и защищено 3 докторские диссертации.

Оргкомитет конференции

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ В НАЦИОНАЛЬНОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Андреев Ю.М., . канд. техн. наук, профессор, Морачковский О.К., д-р техн. наук, профессор

Теоретическая механика – базовая дисциплина в инженерном образовании, а деятельность современного инженера не мыслима без использования СИТ и ПК. С 1998 г. в НТУ «ХПИ» на кафедре теоретической механики накоплен положительный опыт в создании и использовании студентами и преподавателями курса теоретической механики с практикумом для ПК. Дидактические разработки кафедры позволили сформировать определенную систему знаний, разработать учебные и рабочие программы, создать учебно-методические разработки и технические средства для реализации новых целей образования инженеров в области теоретической механики. Отличными от традиционных приняты порядок и логика построения теоретического материала лекций, организация практических занятий и лабораторных работ, самостоятельной работы студентов. Это позволило включить в учебный процесс Internet-разработки в виде дистанционных курсов и практикумов с использованием ПК.

Учебные и рабочие программы включают: лекции, практические (ПЗ), лабораторные занятия (ЛЗ), расчетные работы (РР).

Лекции. Предмет изучения – механические процессы и явления в природе и в технических системах. *Содержание лекций* включает: фундаментальные основы и принципы механики, технологии и методы их использования в математическом моделировании механических процессов и явлений в природе и технических системах. Материалы лекций объединяют два фундаментальных раздела механики: **Кинематика** и **Кинетика**. **Кинематика** излагается с привлечением понятий степеней свободы и обобщенных координат на базе векторного,

координатного и естественного способов описания движения точек и тел, на основе которых определяются векторно-геометрические характеристики движения. **Кинетика** излагается на базе основных понятий о силах и массово-инерционных характеристиках классической механики и на основе общих понятий и принципов аналитической механики. Центральное место при изложении отдано понятиям о связях, обобщенных координатах и их вариациях, виртуальной работе сил и принципу Лагранжа-Даламбера. На этой основе выводятся общие и частные уравнения движения, включая уравнения Лагранжа 2-го рода, уравнения равновесия механических систем, общие теоремы динамики. Рассматриваются общие и частные модели технических систем, для которых представлены разные методы анализа. Принятый подход позволил естественным путем реализовать информационные технологии в обучении и отразить в лекциях современный уровень теоретических знаний, методов и подходов к исследованиям проблем механики.

Практические занятия. Основное содержание цикла ПЗ включает конкретные технологии математических постановок задач для моделирования и исследований механических процессов в типичных технических системах. На ПЗ студенты приобретают умения и практические навыки в решении задач аналитическими средствами, а также сведения о формулировании заданий и навыки решения отдельных задач механики программными средствами для ПК.

Лабораторные работы на ПК. Основной предмет цикла ЛР - это современные информационные технологии, их применение для моделирования и исследования механических процессов. На ЛР студенты приобретают умения и практические навыки в решении обобщенных комплексных проблем механики программными средствами для ПК. Перечень ЛР с использованием ПК включает работы **по кинематике** – исследование абсолютного и сложного движения точки, движения плоских механизмов; **по статике** – равновесие твердых тел под действием плоской и пространственной систем сил, плоских составных конструкций и ферм; **по динамике** – исследование движения материальной точки и механических систем с одной и несколькими степенями свободы, включая составление уравнений движения и исследование свободных и вынужденных колебаний.

Расчетные работы. Основной предмет цикла РР – это задания для индивидуальной самостоятельной работы студентов. Предусматривается их выполнение, как традиционными графо-аналитическими методами, так и с применением программных средств ПК.

2. Учебная версия программного комплекса КИДИМ. Программные средства ПК, которые используются в учебном курсе по теоретической механике для студентов, представлены программным пакетом КИДИМ (ПП КИДИМ). Последний представляет собой учебную версию инженерно-научного программного комплекса КИДИМ. ПП КИДИМ имеет следующие характеристики: устанавливается с дискет или по сети Internet на компьютере пользователя, имеются версии для операционных систем DOS и WINDOWS, содержит программы на алгоритмическом языке C++, реализующие специальную систему компьютерной алгебры и аналитические алгоритмы для решения задач теоретической механики; использует для входной информации текстовый файл, подготовленный на специальном AL-языке. AL-язык прост для освоения, служит для аналитического описания механических моделей и формулировки заданий программным средствам ПП КИДИМ для вычислений и формирования выходной информации. Результаты представляются в текстовом, аналитическом, графическом и табличном видах, фиксируются в текстовых файлах, содержащих диагностическую информацию и итоговый отчет с результатами работы студента. Входная информация редактируется встроенным текстовым редактором, диагностируется и обесчитывается структурно отдельными блоками ПП КИДИМ.



3. Дистанционный курс размещен на WEB-сайте университета по адресу <http://dl.kpi.kharkov.ua>.

Он обеспечивает регистрацию пользователя, организацию учебного процесса, активное взаимодействие обучаемого по E-mail с тьютором и включает: краткие теоретические и практические сведения по основным материалам учебного курса теоретической механики, сведения о ПП КИДИМ, необходимые для его использования при выполнении заданий в рамках ПЗ, ЛЗ и РР; примеры с разбором задач по темам учебного курса и примеры составления входной информации для выполнения заданий к ЛР и РР; пере-

чень типовых вариантов заданий для ПЗ и ЛР.

Лекционная часть курса целенаправленно решает задачу формирования у студента современной точки зрения на инженерную механику, опираясь на фундаментальные принципы механики, в частности, принципы виртуальных перемещений и Лагранжа-Даламбера, общие понятия – о механических системах, степенях свободы, обобщенных координатах и др.

На практических занятиях прививаются навыки использования методов кинематики, статики и динамики, позволяя приобрести междисциплинарное представление о механике, необходимое для освоения последующих за теоретической механикой общих и специальных курсов инженерной подготовки. Приближенные и точные методы оценки кинематики и динамики в пределах механических моделей, построенных студентами для изучения механических процессов, используются с привлечением лишь аналитических средств компьютерной алгебры, которые легко осваиваются на практических и лабораторных занятиях, проводимых с использованием ПП КИДИМ.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 61002, ул. Фрунзе, 21, (0572) 40-03-73, andreew@kpi.kharkov.ua, morachko@kpi.kharkov.ua

1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.923

МОДЕЛЬ ЕДИНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КИНЕМАТИКИ РЕЗАНИЯ

**Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Якимов А.В., докт. техн. наук, Новиков Г.В., канд. техн. наук,
Якимов А.А., канд. техн. наук
(г. Харьков; г. Одесса, Украина)**

In activity the approach to simulation of unified submission of a kinematics of cutting, i.e. all diversity of kinematic configurations of cutting is justified.

Процесс резания представляет собой упорядоченное разрушение обрабатываемого материала под действием механических нагрузок для формообразования геометрических поверхностей детали, предусмотренных ее чертежом. В курсе теории резания материалов изучаются в основном вопросы физики резания. Вопросы кинематики формообразования поверхностей относятся больше к курсу технологии машиностроения. Однако ни в одном из указанных курсов проблема кинематики резания в полном объеме не освещена, хотя, следуя логике, и курс теории резания и курс технологии машиностроения должны начинаться постановкой задач по кинематике. Особенно это относится к теории резания материалов, где изучаются различные виды режущих инструментов, изготовленных специально для формообразования различных геометрических поверхностей деталей.

Детали машин, как правило, ограничены прямолинейными поверхностями и поверхностями тел вращения. Поэтому рассмотрим с единой позиции кинематические условия получения этих поверхностей при резании. Предположим, простейший инструмент – резец (представленный на рисунке условно призматическим стержнем) может совершать движения в трех взаимно перпендикулярных направлениях x, y, z . Для образования плоскости xoy на заготовке в процессе резания резцу достаточно сообщить два прямолинейных движения в направлениях x и y . Данный вид обработки получил название *строгание*. Плоскость xoy на заготовке можно получить также в результате вращательного движения заготовки 1 и перемещения резца в направлении y . Обработка наружной поверхности заготовки производится по траектории, описываемой окружностью радиуса R . При $R \rightarrow \infty$ - приходим к первому случаю, когда резец совершает два прямолинейных движения в направлениях x, y .

При отрицательном значении радиуса R окружность принимает положение 2 (на рисунке) и определяет внутреннюю обрабатываемую поверхность заготовки. Задавая вращательное движение заготовке и перемещение

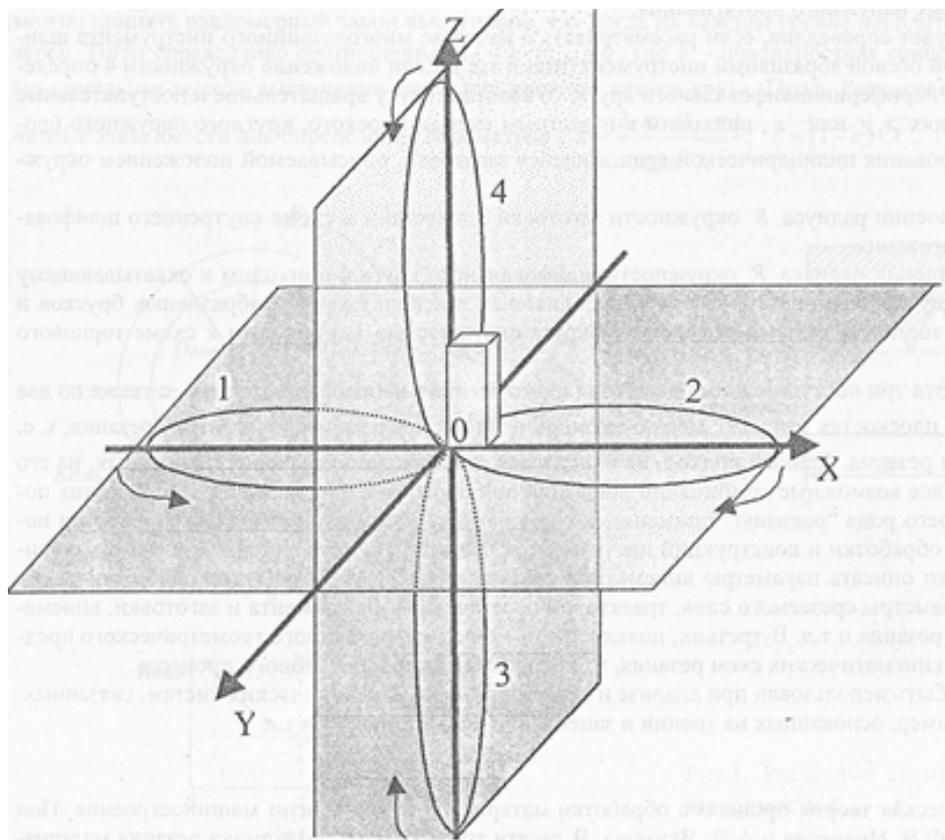


Рисунок. Расчетная схема.

резца в направлении z , можно получить кольцевую канавку или произвести растачивание отверстия, а при $R < H < 2R$ (где H - условно ширина резца) – реализовать схему сверления.

При периодическом импульсном вращательном движении заготовки и перемещении резца в направлении z , можно нарезать зубья шестерне или пазы на внутренних или наружных поверхностях, что определяет известную кинематическую схему долбления.

Рассмотрим теперь положение окружности 3 радиусом R . Она определяет траекторию формообразования наружной цилиндрической поверхности заготовки, основанной на

вращательном движении заготовки и перемещении резца в направлении y . Данный вид обработки получил название *точение*. При вращении заготовки и перемещении резца в направлении z можно осуществить подрезку торца заготовки или разрезать заготовку на части.

При $R \rightarrow \infty$ приходим к рассмотренному выше случаю строгания, а при отрицательном значении радиуса R - к расточке внутренней цилиндрической поверхности 4. Реализуя заданную кинематику резания (положения окружности 3 и 4), можно производить формирование наружной и внутренней резьбы резцом, а также нарезание зубьев и пазов на наружной и внутренней поверхностях заготовки.

Таким образом, рассматривая вращательные движения заготовки в двух плоскостях xoy, xoz и прямолинейные движения резца в трех направлениях x, y, z , можно смоделировать все возможные виды обработки, выполняемые однолезвийным инструментом (резцом).

Рассмотрим кинематику резания многолезвийными инструментами. Предположим, рабочая часть осевого многолезвийного инструмента (фрезы) имеет вид окружности (положение 4). Сообщая инструменту вращательное и поступательные (в направлениях x и y) движения, можно обработать плоскость xoy на заготовке или нарезать паз шириной H (при вращательном и поступательном движении в направлении x). Данный вид обработки называется фрезерованием цилиндрической фрезой (может быть также распространен на фрезерование концевой фрезой).

Сообщая цилиндрической заготовке (положение окружности 3) вращение, а вращающейся фрезе - перемещение в направлениях z или y , можно прорезать паз или сформировать наружную поверхность на цилиндрической заготовке.

Если рассматривать $R \rightarrow \infty$, то приходим к предыдущему случаю формообразования фрезерования плоскости xoy на заготовке. При отрицательном значении радиуса R , приходим к обработке внутренней поверхности зенкерованием, развертыванием, сверлением, протягиванием или осуществляя нарезание резьбы метчиком (сообщая при этом движение в направлении y соответствующему многолезвийному инструменту).

При отрицательном значении радиуса R окружности, определяющей положение 4 рабочей части многолезвийного инструмента, приходим к инструменту с внутренним расположением режущих лезвий, которым можно обрабатывать наружную цилиндрическую поверхность (положение 3) по схеме охватывающего фрезерования или протягивания, а также нарезать наружную резьбу плашкой, резьбонарезной головкой и т.д.

Если установить резцы на торцовой поверхности многолезвийного инструмента (рабочая поверхность которого определяется положением окружности 1 радиуса R) и сообщить ему вращательное и поступательное движение в направлении x , то приходим к схеме торцового фрезерования. С помощью данной схемы можно обрабатывать плоскости и наружные цилиндрические поверхности (положение окружности 3). При $R \rightarrow \infty$ приходим, например, к схеме наружного протягивания.

Проведенный анализ будет справедлив, если рассматривать в качестве многолезвийного инструмента шлифовальный круг или другой осевой абразивный инструмент (хон и т.д.). Если положение окружности 4 определяет рабочую поверхность периферии шлифовального круга, то сообщая кругу вращательное и поступательные перемещения в направлениях x, y или z , приходим к известным схемам плоского, круглого наружного продольного и врезного шлифования цилиндрической вращающейся заготовки, описываемой положением окружности 3.

При отрицательном значении радиуса R окружности заготовки 3 приходим к схеме внутреннего шлифования, а также к схеме хонингования.

При отрицательном значении радиуса R окружности шлифовального круга 4 приходим к охватывающему шлифованию или схемам суперфинишной обработки, выполняемых с использованием абразивных брусков и т.д. Описывая положение торцовой рабочей поверхности круга окружностью 1, приходим к схеме торцового шлифования.

Таким образом, используя три поступательные движения инструмента в направлениях x, y, z , а также по два вращательных движения в плоскостях xoy, xoz , можно с единой позиции представить кинематику резания, т. е. все кинематические схемы резания. Данный подход, на наш взгляд, имеет важное значение. Во-первых, на его основе можно определить все возможные комбинации движений при обработке плоских и цилиндрических поверхностей и провести своего рода “ревизию” применяемых на практике комбинаций с целью разработки новых кинематических схем обработки и конструкций инструментов. Во-вторых, появляется возможность с единой позиции математически описать параметры кинематики резания для всего многообразия кинематических схем резания, включая параметры срезаемого слоя, траектории перемещения инструмента и заготовки, кинематические изменения углов резания и т.д. В-третьих, появляется возможность наглядного геометрического представления трансформации кинематических схем резания, что особенно важно для учебного процесса.

Данный подход может быть использован при анализе и синтезе различных механических систем, связанных с передачей энергии, например, основанных на трении и зацеплении деталей машин и т.д.

Литература

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения /Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580с.

УДК 621.923

КИНЕМАТИКА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОРЦОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ КОЛЬЦА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Ткаченко В.П.

(г. Харьков, Украина)

The idealized solutions on formation of a roughness of an end surface of a rotated ring are adduced during grinding by butt end of a circle. The high-performance enroute operational know-how of diamond abrasive processing of end seals is scientifically justified.

При обработке торцовых поверхностей деталей типа “кольцо” эффективно применение схемы шлифования торцом круга, сообщая детали вращательное движение, а кругу – дополнительную врезную подачу. Данная схема практически исключает неплоскостность обработки, обеспечивает качественную подготовку обрабатываемой поверхности к последующей операции притирки – для достижения высоких показателей шероховатости и точности обработки. Схема получила применение в производстве, однако в теоретическом плане изучена не достаточно, что не позволяет в полной мере оценить ее технологические возможности.

Отличительной особенностью схемы является сложность кинематики формообразования торцовой поверхности кольца, т.к. сьем материала и формирование шероховатости происходит в результате сложения трех кинематических движений: вращения кольца и круга и врезной (радиальной) подачи круга. Для анализа схемы применим системный подход. Первоначально рассмотрим закономерности формирования шероховатости поверхности в результате сложения двух вращательных движений детали и круга, рис. 1,а. Параметр шероховатости R_{max} определим из условия (рис. 1,б)

$$2 \cdot R_{max} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n = B, \quad (1)$$

где γ – половина угла при вершине режущего зерна; $n = k_0 \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau$ – количество зерен, участвующих в формировании шероховатости поверхности; k_0 – поверхностная концентрация зерен, шт/м²; B – ширина рабочей части круга, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $\tau = B / V_{дет}$ – время формирования шероховатости поверхности, с; $V_{дет}$ – скорость вращения детали, м/с.

После преобразований зависимости (1), имеем

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k_0 \cdot V_{кр} \cdot \tau}. \quad (2)$$

В шлифовальном круге зерна выступают над уровнем связки на различную высоту. В первом приближении можно принять равномерный закон выступания, т.е. когда на каждом уровне находится одинаковое количество зерен. Тогда справедливо соотношение $k_0 = k \cdot R_{max} / b$, где k – поверхностная концентрация зерен круга; b – максимальная высота выступания зерен над уровнем связки круга. Проф. Резниковым А.Н. предложены расчетные зависимости для определения параметров: $k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200\pi \cdot X^2}$; $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$, где m – объемная концен-

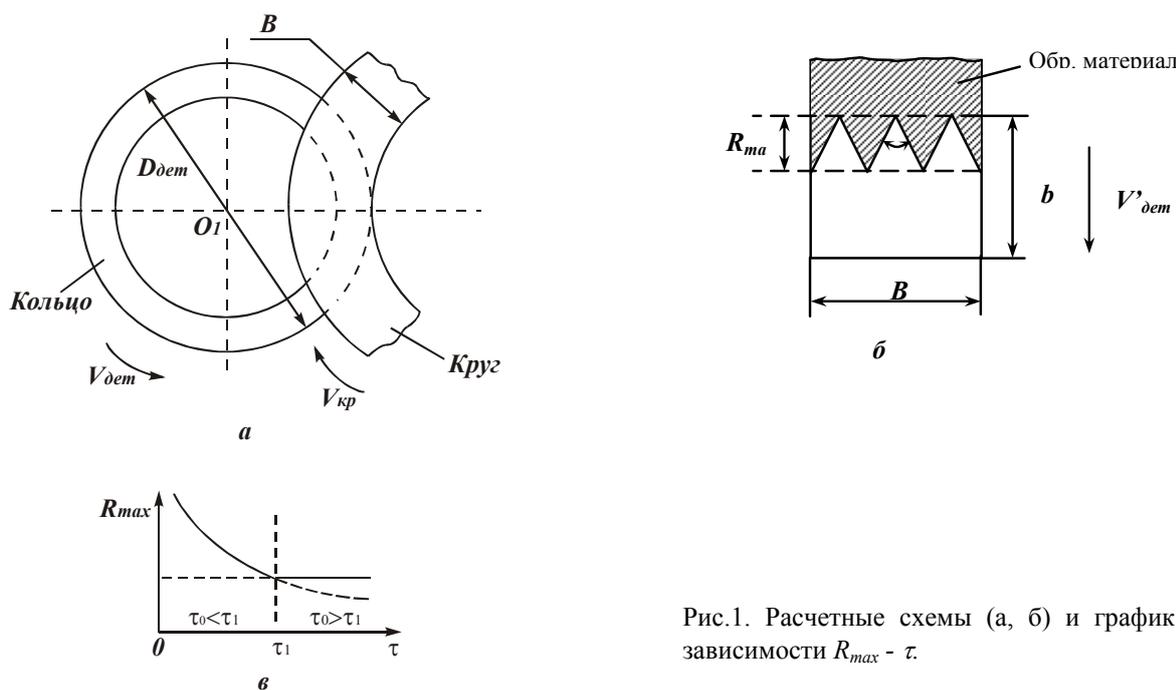


Рис.1. Расчетные схемы (а, б) и график зависимости R_{max} – τ .

трация алмазного круга (50; 100; 150); \bar{X} - зернистость круга.

Преобразуя зависимость (2), получим

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100\pi \cdot \bar{X}^3}{3 \cdot m \cdot tg\gamma \cdot V_{кр} \cdot \tau}} \quad (3)$$

Как видим, наибольшее влияние на параметр R_{max} оказывает зернистость круга \bar{X} . Уменьшить R_{max} можно уменьшением \bar{X} и увеличением $m, \gamma, V_{кр}$ и τ (увеличением B и уменьшением $V_{дем}$):

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дем}}{3 \cdot m \cdot tg\gamma \cdot V_{кр} \cdot B}} \quad (4)$$

Рассмотрим условия формирования шероховатости поверхности в направлении врезной подачи круга $V'_{дем}$. Расчетная схема останется прежней. Изменится лишь время формирования шероховатости поверхности τ , которое будет равно $\tau = R_{max} / V'_{дем}$. Тогда, исходя из зависимости (3), получим

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{100\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V'_{дем}}{3 \cdot m \cdot tg\gamma \cdot V_{кр}}} \quad (5)$$

Обозначим время формирования шероховатости поверхности в направлении скорости $V_{дем}$ через τ_0 , а время формирования шероховатости поверхности в направлении скорости $V'_{дем}$ - через τ_1 . Если $\tau_1 > \tau_0$, то определяющим в формировании шероховатости будет вращательное движение детали. Если $\tau_1 < \tau_0$, то наоборот, определяющим будет движение врезной подачи (по нормали к обрабатываемой поверхности). Графически зависимость $R_{max} - \tau$ показана на рис. 1в. На участке $\tau_1 > \tau_0$ параметр шероховатости R_{max} больше, чем на участке $\tau_1 < \tau_0$. Следовательно, для того, чтобы уменьшить параметр шероховатости, R_{max} необходимо вы-

полнить условие $\tau_1 < \tau_0$ или $\frac{R_{max1}}{V'_{дем}} < \frac{B}{V_{дем}}$, где параметр R_{max1} определяется зависимостью (5).

Поскольку, на участке $\tau_1 < \tau_0$ параметр шероховатости R_{max} не зависит от параметров $B, V_{дем}$, шлифование можно производить торцом круга шириной $B \geq D_{дем}$. Обрабатываемое кольцо при этом может не вращаться.

Приведенные результаты теоретических исследований положены в основу создания промышленной высокоэффективной технологии алмазно-абразивной обработки рабочих поверхностей торцовых уплотнений (выполненных в виде колец) из композиции "твердый сплав "Релит"- медь". Ниже показаны два варианта разработанной технологии, табл. 1. Второй вариант, как более эффективный (табл. 2), реализован в производстве.

Проведены экспериментальные исследования производительности и шероховатости обработки при шлифовании торцовой поверхности кольца торцом алмазного круга.

Испытывались алмазные круги формы 12A2 45° 150×10×3×32 разных характеристик на металлической связке М1-01 и органической связке В2-01 производства Полтавского алмазного завода. Алмазные круги на металлической связке перед каждым опытом подвергались электроэрозионной правке с целью устранения биения и качественного вскрытия алмазного слоя круга. Правку производили до тех пор, пока не достигалось высокое качество поверхности детали, прошлифованной данным кругом (отсутствие следов вибраций и достижение однородной поверхности).

На рис. 2 приведены графики, показывающие изменение производительности обработки Q с течением времени шлифования τ . Наибольшая производительность обработки имеет место при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 с его непрерывной электроэрозионной правкой, т.е. при алмазном электроэрозионном шлифовании. С течением времени обработки производительность незначительно уменьшится, затем стабилизируется.

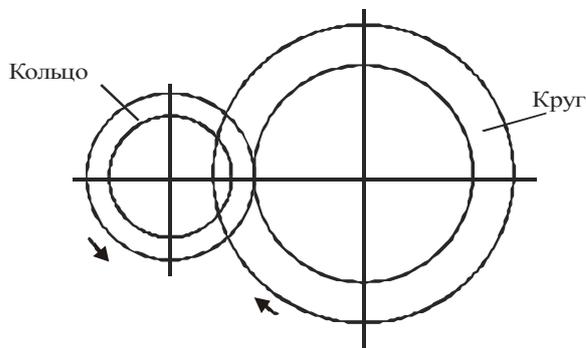
При шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 без использования электроэрозионной правки в процессе шлифования производительность обработки так же с течением времени уменьшается, затем стабилизируется. Однако, стабилизация происходит при меньшей производительности обработки. Следовательно, применение непрерывной электроэрозионной правки алмазного круга позволяет повысить производительность обработки.

Проводились экспериментальные исследования шлифования с периодической электроэрозионной правкой алмазного круга на металлической связке М1-01. Как следует из рис. 2, с течением времени обработки производительность обработки уменьшается от исходного максимального значения (после правки) до значения соответствующего производительности шлифования без правки. Зависимость $Q - \tau$ подчиняется периодической функции с периодом, определяемым временем между правками алмазного круга. Установлено, что продолжительность правки круга зависит от времени между правками. Между указанными параметрами существует пропорциональная связь. Чем больше время между правками, тем продолжительнее процесс правки круга.

Таблица 1

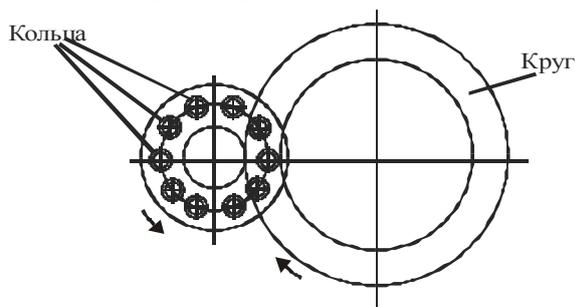
Вариант 1: Черновая обработка

1. Шлифование торцом круга торца



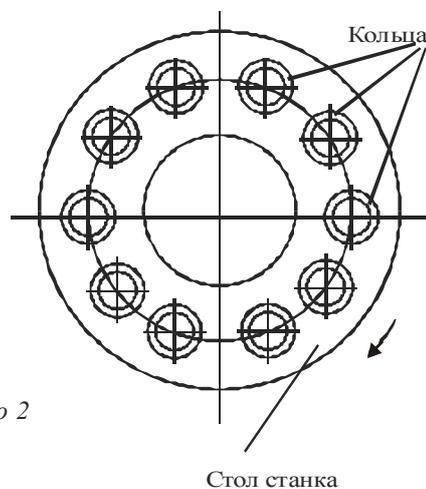
- высокопроизводительный съем больших припусков (до 2 мм);

2. Шлифование торцов колец на станке с вращающимся столом мод. ЗБ756 торцом алмазного сборного круга диаметром 1000мм и более.



Чистовая обработка

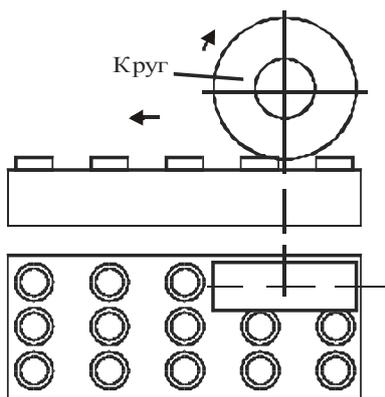
1. Доводка торцов колец свободным абразивом (алмазным порошком,



- уменьшение параметра шероховатости обработки до уровня $Ra < 0,1 \mu\text{м}$;
 - уменьшение неплоскостности обработки до уровня $< 0,9 \mu\text{м}$.

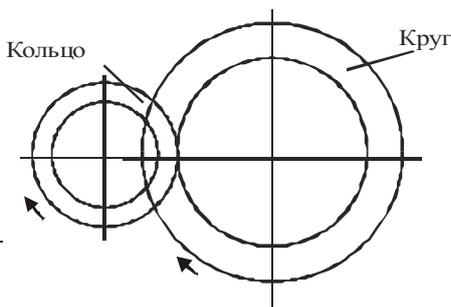
Вариант 2: Черновая

1. Плоское шлифование торцов колец



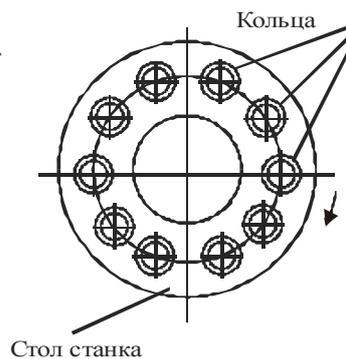
Получистовая

1. Шлифование торцом круга



Чистовая

1. Доводка торцов колец свободным абразивом



Производительность шлифования алмазным кругом на органической связке В2 –01 с течением времени обработки практически остается постоянной и по уровню занимает промежуточное положение между производительностью шлифования алмазным кругом на металлической связке с применением непрерывной электроэрозионной правки и производительностью шлифования тем же кругом без применения электроэрозионной правки.

Необходимо отметить, что алмазный круг на органической связке В2-01 после установки его на станок не требует правки, характеризуется высокой режущей способностью. Об этом свидетельствует высокое качество обработанной поверхности – отсутствие следов вибраций, неоднородной поверхности (чередующихся участков). Приработка круга занимает весьма непродолжительное время.

Производительность обработки		
Вариант 1		
Шлифование торцом круга	Притирка	
1. Припуск - 2мм. 2. Скорость съема материала - 1мм/мин. 3. Основное время обработки кольца - 120сек 4. Вспомогательное время - 15сек.	Условное время обработки 1 кольца - 20сек.	
Вариант 2		
Плоское шлифование	Шлифование торцом круга	Притирка
1. Припуск - 2мм. 2. Условное время обработки 1 кольца - 15сек	1. Припуск - 0,1мм. 2. Основное время - 6сек. 3. Вспомогательное время - 15сек	Условное время обработки 1 кольца - 20сек.
Суммарное время обработки: 15сек + 6сек + 15сек = 36сек		

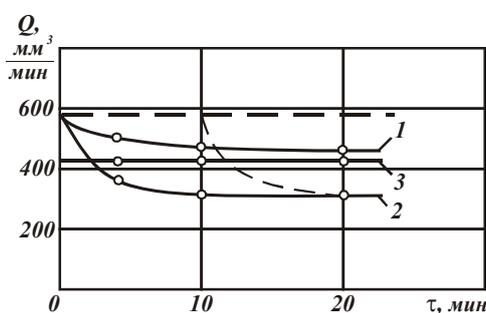


Рис.2. Зависимость производительности обработки от времени шлифования алмазными кругами 12А2 45° 150x10x3x32 АС6 100/80 4 на связках: 1 – М1-01(с электрическим током); 2 – В2-01; 3 – М1-01 (без электрического тока). $V_{кр} = 28\text{м/с}$; $V_{дем} = 30\text{м/мин}$; $P_{уд} = 7\text{кГс/см}^2$; $I = 30\text{А}$; СОЖ - 3%-ный раствор Na_2NO_3 .

Заслуживает внимания еще один важный факт. В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что при относительно небольшом биении алмазного круга на металлической связке М1-01 (до 0,1 мм) возможна подготовка круга к работе без применения электроэрозионной правки. Достаточно использовать механическую правку, осуществляемую путем шлифования релитовых колец. Для того чтобы устранить биение круга, необходимо сошлифовать релитовый слой толщиной до 100 мм и более, т.е. прошлифовать 30-80 релитовых колец (толщина релитового слоя кольца составляет 2 мм) после данной механической правки производительность обработки соответствует значениям, указанным на рис. 2 для случая 2 (шлифование без применения электроэрозионной правки).

Опытами установлено, что продолжительность электроэрозионной правки значительно меньше, чем механической. Биение круга величиной 0,1 мм с использованием электроэрозионной правки можно устранить за время 5 – 10 минут, тогда как с использованием механической правки – более чем за один час.

Для обоснования оптимальных условий обработки произведена оценка износостойкости алмазных кругов. На рис. 3 показано количество колец, прошлифованных одним алмазным кругом до его полного износа при съеме припуска величиной 0,15 мм. Как видим, износостойкость алмазного круга на металлической связке М1-01 почти на порядок больше износостойкости алмазного круга на органической связке В2-01. С увеличением зернистости алмазного круга на металлической связке, его износостойкость увеличивается. Этим доказана эффективность применения крупнозернистых алмазных кругов, которые, наряду с увеличением производительности обработки, обеспечивают снижение износа.

Как известно, наибольшее влияние из характеристик алмазного круга на параметр шероховатости R_a оказывает зернистость круга. В связи с этим, проведена серия экспериментов по установлению связи шероховатости обработки с зернистостью круга.

Исходя из рис. 4, с увеличением зернистости круга в пределах 60/40...220/160 параметр шероховатости обработки R_a непрерывно увеличивается. Наибольшие значения R_a имеют место при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 с применением непрерывной правки. В этом случае обеспечивается наибольшее выступание алмазных зерен над уровнем связки круга. С одной стороны, как показано в предыдущем параграфе, это создает условия повышения производительности обработки за счет более глубокого внедрения режущих зерен в обрабатываемый материал. С другой стороны, это ведет к увеличению глубин рисок – царапин на обработанной поверхности и соответственно увеличению параметра R_a . Данная закономерность справедлива, если сравнивать зависимость 1 (рис. 4) с зависимостями 2 и 3 между собой, то данное объяснение не правомочно. Напри-

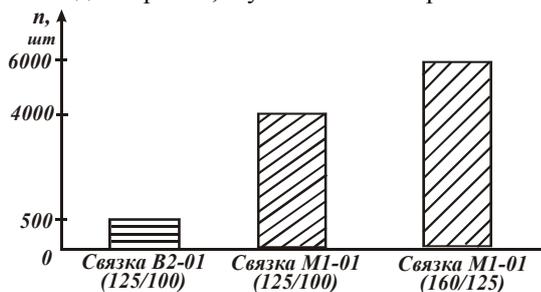


Рис.3. Влияние типа связки алмазного круга 12А2 45° 150x10x3x32 АС6 4 на количество обработанных колец до полного износа круга.

Производительность обработки R_a непрерывно увеличивается. Наибольшие значения R_a имеют место при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М1-01 с применением непрерывной правки. В этом случае обеспечивается наибольшее выступание алмазных зерен над уровнем связки круга. С одной стороны, как показано в предыдущем параграфе, это создает условия повышения производительности обработки за счет более глубокого внедрения режущих зерен в обрабатываемый материал. С другой стороны, это ведет к увеличению глубин рисок – царапин на обработанной поверхности и соответственно увеличению параметра R_a . Данная закономерность справедлива, если сравнивать зависимость 1 (рис. 4) с зависимостями 2 и 3 между собой, то данное объяснение не правомочно. Напри-

мер, алмазный круг на органической связке В2-01, исходя из рис. 2, обеспечивает более высокую производительность обработки по сравнению с алмазным кругом на металлической связке М1-01 при шлифовании без

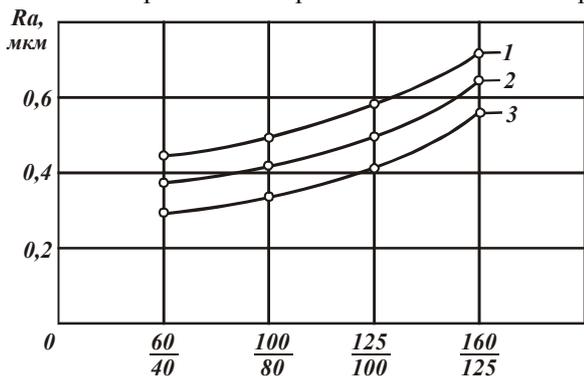


Рис.4. Зависимость параметра шероховатости R_a от зернистости алмазных кругов 12А2 45° 150x10x3x32 АС6 4 на связках: 1 – М1-01(с электрическим током); 2 – М1-01 (без электрического тока); 3 – В2-01, $V_{кр} = 28$ м/с; $V_{оет} = 30$ м/мин; $P_{yo} = 7$ кГс/см²; $I = 30$ А; СОЖ - 3%-ный раствор Na_2NO_3 .

– определяющим является первый, который не позволяет уменьшить производительность обработки за счет явного уменьшения глубин внедрения зерен в обрабатываемый материал и соответственно уменьшения параметра шероховатости R_a .

Причем, этот фактор настолько значителен, что нивелирует эффект, создаваемый при шлифовании алмазным кругом на металлической связке в связи с затуплением зерен и уменьшением по этой причине глубин их внедрения в обрабатываемый материал и параметра шероховатости R_a . Таким образом, алмазные круги на органической связке В2-01 обладают важным свойством «утопания» зерен в связку, что создает эффект обработки, выражающийся в повышении производительности обработки и уменьшении параметра шероховатости обработки R_a .

Были проведены экспериментальные исследования торцевого шлифования алмазным габаритным кругом формы 12А2 45° 200x20x5 АС6 100/80 М1-01 4, характеризующимся увеличенными диаметром и шириной рабочей части.

Опыты проводились с применением периодической электроэрозионной правки круга. После установки круга на станок, биение круга составило 0,25 мм. Биение было устранено в течении 40 минут с применением электроэрозионной правки, т.е. продолжительность подготовки данного круга к работе существенно увеличилась по сравнению с подготовкой к работе алмазного круга 12А2 45° 150x10x3.

В результате выполненных опытов установлено, что применение данного круга позволяет увеличить производительность обработки и уменьшить параметр шероховатости обработки R_0 по сравнению с рассмотренным выше алмазным кругом 12А2 45° 150x10x3 той же характеристики. Достигнутый эффект объясняется увеличением количества одновременно работающих зерен (т.к. при этом увеличивается площадь контакта круга с обрабатываемой деталью) и увеличением скорости круга вследствие увеличения его диаметра.

Опытами также установлено уменьшение величины образующихся заусенцев, что имеет чрезвычайно важное практическое значение. Это связано с уменьшением толщин срезов, что согласуется с теоретическим решением, приведенным в предыдущем параграфе.

Вместе с тем, при шлифовании данным кругом выявлены новые явления, которые отсутствовали при шлифовании алмазным кругом 12А2 45° 150x10x3. Это следы вибраций и прижоги на обработанных поверхностях.

В ходе экспериментов обращалось внимание на анализ влияния скорости вращения обрабатываемого кольца $V_{оет}$ на появление прижогов. Изменение $V_{оет}$ в довольно широких пределах (до 100 м/мин) не позволило устранить прижоги. Таким образом, применение габаритного торцевого алмазного круга в целом привело к ухудшению качества обработки. Поэтому для практического использования рекомендуется торцевой алмазный круг 12А2 45° 150x10x3, исключающий образование на обработанных поверхностях следов вибраций и прижогов.

Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 455 с.
2. Теоретические основы технологии машиностроения: Учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков, Н.И. Решетнев – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОМ АЛМАЗНО-ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ШЛИФОВАНИЯ.

Новиков Г.В., канд. техн. наук, Малыхин В.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина; г. Курск, Россия)

Are scientifically justified a physical essence and paths of increase of efficiency of process of diamond electroerosive grinding.

Процесс алмазно-электроэрозионного шлифования хорошо зарекомендовал себя при шлифовании ряда труднообрабатываемых материалов, обеспечивая повышение производительности и качества обработки. Вместе с тем, с физической точки зрения, процесс достаточно сложный, т.к. основан на соединении механической и электрической энергии. Это требует разработки теоретического подхода для обоснования путей его эффективного управления.

Рассмотрим расчетную схему, в которой силовое воздействие режущего зерна на обрабатываемый материал представлено в виде двух сил, действующих в вертикальном и горизонтальном направлениях, рис. 1. Отношение сил P_z/P_y равно коэффициенту резания K_w . Под воздействием сил P_z и P_y со стороны зерна обрабатываемый материал будет деформироваться, в нем возникнет напряженно-деформированное состояние.

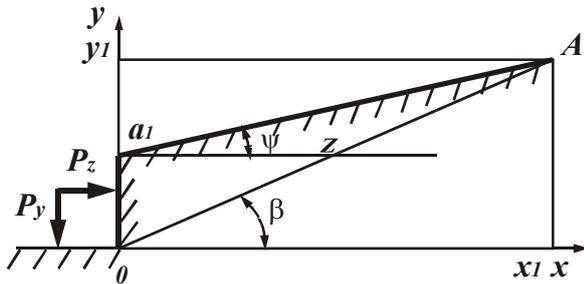


Рис. 1. Расчетная схема параметров стружкообразования при резании.

Для определения плоскости, в которой произойдет сдвиг материала, т. е. когда напряжение на сдвиг τ достигнет максимального значения, равного прочности материала, спроектируем силы P_z и P_y на условную плоскость, расположенную под углом β к направлению движения зерна

$$\tau = \frac{1}{\Delta \cdot z} (P_z \cdot \cos \beta - P_y \cdot \sin \beta), \quad (4.1)$$

где Δ -ширина среза, м; z - длина плоскости сдвига, м.

Длину z найдем из системы двух тригонометрических уравнений:

$$\begin{cases} y_1 = a_1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot x_1 \\ y_1 = \operatorname{tg} \beta \cdot x_1 \end{cases},$$

где x_1, y_1 - координаты точки пересечения плоскости сдвига с плоскостью, определяющей текущую толщину среза, м;

a_1 - начальное значение толщины среза, м;

φ - угол входа зерна в обрабатываемый материал, град.

Решая уравнение (4.2) с учетом соотношения $x_1/z = \cos \beta$, имеем:

$$z = \frac{a_1 \cdot \cos \varphi}{\sin(\beta - \varphi)} \quad (4.3)$$

После подстановки (4.3) в зависимость (4.1) с учетом $K_w = \frac{P_z}{P_y} = \operatorname{tg} \psi$ и тригонометрических преобразований, получим

$$\tau = \frac{P_y \cdot \sin(\beta - \varphi)}{\Delta \cdot a_1 \cdot \cos \varphi} \cdot \frac{\sin(\psi - \beta)}{\cos \psi}. \quad (4.4)$$

При постоянных значениях $P_y, \varphi, \psi, \Delta, a_1$ с увеличением угла β напряжение τ (за счет роста $\sin(\beta - \varphi)$) будет увеличиваться, затем, после достижения определенного значения β (за счет уменьшения $\sin(\psi - \beta)$), будет уменьшаться. Таким образом, из зависимости (4.4) следует, что τ изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку максимума. Для определения экстремального значения напряжения τ про дифференцируем зависимость (4.4) по β и полученное выражение приравняем к нулю. После несложных преобразований, имеем

$$\cos(\beta - \varphi) \cdot \sin(\psi - \beta) - \sin(\beta - \varphi) \cdot \cos(\psi - \beta) = 0 \text{ или } \sin(\psi + \varphi - 2\beta) = 0. \quad (4.5)$$

Откуда угол сдвига равен

$$\beta = \frac{\psi + \varphi}{2}. \quad (4.6)$$

При $\psi = \text{const}$ с уменьшением угла ψ угол сдвига β уменьшается. Этим, в частности, объясняется причина снижения угла сдвига при глубинном шлифовании, характеризующемся небольшими значениями угла φ вследствие образования длинных тонких срезов. При многопроходном шлифовании, когда образуются короткие утолщенные сегментной формы срезы, угол сдвига β принимает большие значения. Увеличение коэффициента резания K_w (при $\psi < 30^\circ$ коэффициент $K_w \approx \psi$) приведет к росту угла сдвига, т.е. с увеличением толщины среза и остроты режущего зерна (что способствует росту K_w) угол сдвига увеличится. Из этого можно заключить, что при глубинном шлифовании, когда толщина среза меньше, чем при многопроходном, угол сдвига не уменьшится.

Установленные теоретические закономерности хорошо согласуют с аналогичными экспериментальными

данными, в частности, приведенными в работе проф. Силина С. С. и др. [1], где показано снижение угла сдвига при глубинном шлифовании по сравнению с многопроходным шлифованием.

Интенсивность изменения угла β от параметров ψ и φ в зависимости (4.6) будет определяться их соотношением. В случае $\psi > \varphi$ в формировании угла сдвига β будет преобладать коэффициент резания $K_{ш}$. Это будет иметь место при резании “острым” режущим зерном или с большей толщиной среза. Роль угла φ здесь несущественна. При $\psi < \varphi$, наоборот, угол β будет определяться углом φ . Такой случай возможен при глубинном шлифовании, когда толщина среза незначительна и $K_{ш}$ принимает небольшие значения или при резании затупившимся зерном с большим радиусом режущей кромки.

На практике второй случай практически не реализуем, т. к. $tg\varphi = a_1 / l$ (где l - длина среза при глубинном шлифовании) не превышает значения 0,01 (из условия $a_1=10\text{мкм}$, $l = 1000\text{ мкм}$). Соответственно угол φ не превышает 1° . Угол ψ при $K_{ш}=0,1$ равен приблизительно 6° , т.е. реализуется случай $\psi > \varphi$.

Из этого можно сделать вывод, что основным фактором, определяющим угол сдвига β , является коэффициент $K_{ш}$. Его увеличение способствует росту угла сдвига β .

Это подтверждает выдвинутую во второй главе предпосылку об определяющей роли коэффициента резания $K_{ш}$ в формировании силовой напряженности процесса шлифования и необходимости управления этим коэффициентом.

Принимая в зависимости (4.6) условие $\varphi=0$, получим зависимость для определения $K_{ш}$

$$K_{ш} = tg2\beta. \quad (4.7)$$

Данная зависимость, на наш взгляд, имеет важное значение для количественной оценки процесса шлифования. Например, по экспериментальным значениям угла сдвига β можно определить коэффициент $K_{ш}$, который будет соответствовать коэффициенту “чистого” резания без учета трения связи круга с обрабатываемым материалом. Зная суммарный коэффициент резания (установленный экспериментально), можно будет определить долю трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

Такой подход к анализу процесса шлифования является новым и позволяет принципиально решить вопрос разделения энергии резания и трения при шлифовании.

Пользуясь зависимостью (4.7), с учетом зависимости (4.4) и принимая упрощения в силу малости углов β , φ , $\psi - \sin(\beta - \varphi) \approx \beta - \varphi$; $\sin(\psi - \beta) \approx \psi - \beta$; $\cos \varphi \approx 1$; $\cos \psi \approx 1$, получим зависимость для определения условного напряжения резания σ , которое с физической точки зрения равно энергоёмкости резания ($\tau = \tau_{сдв}$,

$$P_y = \frac{P_z}{K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot S}{K_{ш}}, S = \Delta a_1$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot \tau_{сдв} \cdot K_{ш}}{(\psi^2 - \varphi^2)} \quad (4.8)$$

Учитывая, что $\psi^2 \gg \varphi^2$, $\psi \approx K_{ш}$, зависимость (3.8) упростится

$$\sigma = \frac{4 \tau_{сдв}}{K_{ш}}. \quad (4.9)$$

Как видим, условное напряжение резания σ определяется лишь двумя параметрами – $\tau_{сдв}$ и $K_{ш}$, где $\tau_{сдв}$ – прочность обрабатываемого материала на сдвиг, Н/м².

Переменным параметром здесь является $K_{ш}$. Следовательно, добиться изменения σ можно за счет изменения коэффициента $K_{ш}$.

С его увеличением условное напряжения резания σ снижается, т.е. эффективно с точки зрения энергоёмкости резания увеличивать толщину среза и “остроту” режущего зерна. Поэтому, применение глубинного шлифования в этом плане менее эффективно, т.к. уменьшается толщина среза. Основным путем снижения энергоёмкости глубинного шлифования следует рассматривать увеличения $K_{ш}$ за счет повышения режущей способности круга в условиях алмазно-электроэрозионного шлифования.

Для предварительной оценки правильности полученных расчетных зависимостей проведем сравнение расчетных данных коэффициента резания и условного напряжения резания с соответствующими экспериментальными данными, приведенными в ряде литературных источников. Так, в работе [1] установлены экспериментальные значения угла сдвига β_1 и коэффициенты резания P_z / P_y при глубинном абразивном шлифовании большой группы материалов, табл. 4.1. Используя экспериментальные значения угла сдвига β_1 при обработке этих материалов и расчетную зависимость (4.9), определим значения коэффициента резания $K_{ш} = P_z / P_y$ и сравним их с соответствующим экспериментальными значениями P_z / P_y .

Как следует из табл. 4.1, имеется расхождение между расчетными и экспериментальными значениями $K_{ш}$, в особенности с увеличением прочностных свойств обрабатываемых материалов.

Так, расхождение расчетных и экспериментальных данных $K_{ш} = P_z / P_y$ для материалов группы № 1...№ 9 проявляется в меньшей мере, чем для материалов № 10...№ 12. Это связано с тем, что при расчетах не учитывались процессы трения связки круга с образующимися стружками и неровностями обрабатываемого материала, которые непосредственного влияния на процесс стружкообразования (формирование угла β_1) не оказывают. Однако, они определяют общий коэффициент резания, установленный экспериментально. В количественном выражении расхождение расчетных и экспериментальных значений $K_{ш}$ составляет 0...50% для материалов № 1...№ 9, для материалов №10...№12 расхождение выше – до 80%, т.е. до 40% энергоёмкости процесса шлифования составляет энергия трения.

Таблица 4.1

№ п/п	Материал	Экспериментальные		Расчетные
		β_1	P_z/P_y	$K_{из} = P_z/P_y$
1	Сталь 45	9,2	0,36	0,33
2	Сталь 20	9,1	0,48	0,33
3	У10А	9,6	0,32	0,35
4	12Х18Н9Т	9,5	0,57	0,35
5	9ХС	9,3	0,45	0,37
6	ЭП863	10,2	0,36	0,37
7	ХН73МБТЮ	10,5	0,47	0,38
8	ЭП722	10,4	0,29	0,38
9	P18	10,6	0,25	0,39
10	P9К5	11,0	0,22	0,4
11	ХН77ТЮР-ВД	11,2	0,23	0,4
12	ЖС6К	11,4	0,24	0,41

Сравним расчетные и экспериментальные значения условного напряжения резания σ при микрорезании единичным алмазным зерном твердого сплава Т15К6. Учитывая отсутствие справочных данных по прочности материала на сдвиг $\tau_{сдв}$, воспользуемся данными по прочности материала на сжатие $\sigma_{сж}$, которое связано с $\tau_{сдв}$ на приближенной зависимости $\sigma_{сж} = 2\tau_{сдв}$. Для твердого сплава Т15К6 предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 4100$ МПа, следовательно, $\tau_{сдв} = 2050$ МПа.

Таблица 4.2

Экспериментальные и расчетные значения параметров напряженности процесса микрорезания единичным зерном (зерно АС50, скорость резания $V = 20$ м/с, обрабатываемый материал Т15К6).

Толщина среза a_z , мкм	2	4	6	8	10	12	14
$K_{из}$ эксперим.	0,24	0,4	0,49	0,55	0,6	0,63	0,65
σ эксперим., ГПа	95	45	31	20	20	17	18
σ расчетное, ГПа	34,7	20,5	16,7	14,9	13,7	13,0	12,6

Как следует из табл. 4.2, имеется расхождение расчетных и экспериментальных значений условного напряжения резания σ . С увеличением толщины среза a_z это расхождение уменьшается. Основной причиной наблюдаемого расхождения является то, что при расчетах $K_{из}$ и σ не учитывались процессы трения режущего зерна с обрабатываемым материалом, которые непосредственного влияния на характер стружкообразования не оказывали. К ним относятся процессы трения по задней и боковым поверхностям алмазного зерна. Вместе с тем, указанные процессы трения участвуют в формировании общего коэффициента резания $K_{из}$ и условного напряжения резания σ , которые устанавливались экспериментально. Следовательно, различие между экспериментальными и расчетными значениями σ определяет энергоёмкость процесса трения зерна с обрабатываемым материалом. При относительно небольших значениях толщин срезов (до 6 мкм) расхождение экспериментальных и расчетных значений σ составляет до 100% и выше, при $a_z > 6$ мкм – расхождение находится в пределах 50%. Следовательно, при относительно небольших значениях a_z доля энергии трения выше энергии “чистого” резания при микрорезании единичным зерном. При $a_z > 6$ мкм, наоборот, в общей энергоёмкости процесса преобладает энергия “чистого” резания. Полученные результаты указывают на то, что для расчета σ по зависимости (4.9) необходимо знать коэффициент “чистого” резания, исключая процесс трения зерна с обрабатываемым материалом. Коэффициент “чистого” резания будет меньше значения, принятого в этом расчете, и поэтому параметр σ возрастет, приближаясь к экспериментальным значениям.

Таблица 4.3

Экспериментальные и расчетные значения параметров $K_{из}$ и σ для обычного алмазного шлифования

Время шлифования, мин	2	4	6	8	10	12	14
$K_{из}$ эксперим.	0,42	0,34	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21
σ эксперим., ГПа	138	144	148	153	157	160	164
σ расчетное, ГПа	1,5	24,1	29,3	31,5	34,2	35,6	39

Используя экспериментальные данные $K_{из}$ и σ , приведенные в предыдущей главе, определим расчетные значения σ для условий обычного алмазного шлифования и алмазно-электроэрозионного шлифования твердых сплавов совместно со сталью. В табл.4.3 приведены экспериментальные значения $K_{из}$ и σ для алмазного торцевого шлифования по упругой схеме композиции “безвольфрамовый твердый сплав ТМ – 20 и сталь 45” (условия обработки: нормальное давление $P_n = 1,0$ МПа; $V_{кр} = 20$ м/с; круг-12А2-45° АС6 100/80 М1-01-4). В этой же таблице приведены расчетные значения σ , полученные по зависимости (4.8) с использованием экспериментальных значений $K_{из}$. Параметр $\tau_{сдв}$ в зависимости (4.9) представлен в виде $\tau_{сдв} = 2\sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж} = 4100$ МПа (как для

твердого сплава Т15К6).

Следуя таблице, имеется большое расхождение экспериментального и расчетного значений σ (до 7 раз). Во-первых, это связано с тем, что расчетная зависимость (4.9) учитывает лишь процесс “чистого” резания, а коэффициент резания $K_{ш}$, который используется при расчетах, получен экспериментально и учитывает как процесс “чистого” резания, так и процесс трения зерен и связки круга с обрабатываемым материалом. Во-вторых, в связи с отсутствием в литературных источниках $\sigma_{сж}$ для безвольфрамового твердого сплава ТН-20 был использован $\sigma_{сж}$ для твердого сплава Т15К6, который ниже $\sigma_{сж}$ для сплава ТН-20. С течением времени обработки расхождение экспериментального и расчетного значения σ уменьшается (до 4-х раз). Данный результат свидетельствует о преобладании энергии трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

В табл.4.4 приведены значения $K_{ш}$ и σ для алмазно-электроэрозионного шлифования, которые показывают на снижение расхождения экспериментальных и расчетных значений σ по сравнению с обычным алмазным шлифованием, таб.4.3.

Таблица 4.4

Расчетные и экспериментальные значения параметров $K_{ш}$ и σ для алмазного электроэрозионного шлифования.

Время шлифования, мин	2	4	6	8	10	12	14
$K_{ш}$ эксперим.	0,26	0,24	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23
σ эксперим., ГПа	62	73,5	84	83	85	84	85
σ расчетное, ГПа	31,5	34,2	35,6	35,6	34,2	35,6	35,6

В данном случае, расхождение составляет в среднем 2 раза. Следовательно, применение алмазно-электроэрозионного шлифования позволяет существенно уменьшить энергию трения связки круга с обрабатываемым материалом и тем самым снизить общую энергию шлифования. Полученные значения σ - расчетные. Сопоставим их с аналогичными значениями σ , полученными при микрорезании единичным алмазным зерном при $a_z \approx 2$ мкм. Из этого следует, что условные напряжения резания при алмазно-электроэрозионном шлифовании (при использовании оптимального режима работы источника технологического тока) определяются условиями резания отдельными зернами. Это подтверждает сделанный в третьей главе вывод о том, что металлическая связка круга в процессе шлифования практически не контактирует с обрабатываемым материалом, т.е. энергии электрических импульсов, вырабатываемых специальным электроимпульсным генератором (который был использован в данном случае), достаточно для полного термического разрушения образующихся микростружек и других продуктов обработки и исключения их из контакта со связкой.

Рассмотрим влияние скорости круга на параметр σ для алмазноэлектроэрозионного шлифования, используя материалы третьей главы, полученные при условиях обработки: нормальное давление – $P_n =$ МПа, круг 12А2 – 45° АС6 100/80 М1-01 4, обрабатываемый материал: – Т15К6 - сталь 45.

Таблица 4.5

Экспериментальные и расчетные значения параметров $K_{ш}$ и σ для алмазно-электроэрозионного шлифования.

Скорость круга, $V_{кр}$, м/с	15	20	25	30	35	40
$K_{ш}$ эксперим.	0,32	0,31	0,29	0,27	0,24	0,21
σ эксперим., ГПа	46	57	68	81	94	109
σ расчетное, ГПа	25,6	26,5	28,3	30,4	34,2	39,0

Как видим, расхождение экспериментальных и расчетных значений σ увеличивается с ростом скорости круга $V_{кр}$ (от 1,8 до 2,6 раз), т.е. с увеличением скорости круга увеличивается доля трения в общей энергоемкости шлифования. Таким образом, можно заключить, что полученная зависимость (4.9) позволяет раздельно учесть энергию “чистого” резания и энергию трения. Однако, это возможно при условии знания коэффициента “чистого” резания, который может быть установлен экспериментально на основе специальных методик.

Учитывая важность определения коэффициента “чистого” резания $K_{ш}$ для расчета условного напряжения резания и дальнейшей оценки доли “чистого” резания и доли трения при шлифовании, рассмотрим методику установления коэффициента $K_{ш}$. Для этого разрешим зависимость (4.13) относительно $K_{ш}$

$$K_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot \tau_{сдв} \cdot Q}{V_{кр} \cdot P_y}} \quad (4.14)$$

Как видим, для определения $K_{ш}$ необходимо знать производительность обработки Q и радиальную составляющую силы резания P_y . В общем случае P_y не равна той силе резания, которую измеряют при шлифовании по упругой системе, т.к. P_y должна учитывать лишь долю “чистого” резания и не включать долю трения связки круга с обрабатываемым материалом. В общем случае определение P_y “чистого” резания весьма сложно. Применительно к алмазно-электроэрозионному шлифованию определение P_y и соответственно коэффициента “чистого” резания упрощается. Для этого необходимо при заданном режиме шлифования увеличивать электрические параметры алмазно-электроэрозионного шлифования до тех пор, пока расчетное значение $K_{ш}$ по зависимости (4.14) не совпадает с экспериментально установленным. При этом в зависимости (4.14) следует принимать

значение P_y , равным заданному (постоянному) при шлифовании по упругой схеме или по жесткой схеме. Производительность обработки Q также необходимо постоянно определять в процессе и использовать в зависимости (4.14) для определения $K_{ш}$. По установленным значениям $K_{ш}$ определяются значения σ в соответствии с зависимостью, а затем оценивается доля “чистого” резания и доля трения в энергоемкости шлифования.

Таким образом, сформулировано условие разделения энергии “чистого” резания и энергии трения.

Однако, полученное решение следует рассматривать шире. По сути, решение устанавливает условие определения оптимальных режимов алмазно-электроэрозионного шлифования. Сущность его состоит в следующем. Для заданных значений режима шлифования необходимо увеличивать интенсивность правки до тех пор, пока расчетное значение $K_{ш}$ не станет равным или близким к экспериментальному значению $K_{ш}$. Этим условием будет определяться оптимальный электрический режим алмазно-электроэрозионного шлифования, т.е. каждому механическому режиму должен соответствовать вполне конкретный электрический режим. Этим будет устраняться, во-первых, засаливание круга, во-вторых, будет исключаться контакт стружек со связкой круга вследствие их термического разрушения (оплавления) и износа из зоны резания технологической жидкостью. Иными словами, данное условие исключает контакт связки с обрабатываемым материалом.

Для решения вопроса вскрытия алмазного слоя и повышения за счет этого режущей способности круга, очевидно, электрические режимы необходимо еще несколько “ужесточить” по отношению к установленным. При проведении экспериментов по выбору оптимального режима шлифования предложенное условие необходимо выполнять для каждого исследуемого режима шлифования. Тогда эксперимент будет поставлен методически правильно.

Литература

1. Силин С.С., Хрульков В.А., Лосанов А.В., Рыкунов Н.С. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов. –М.: Машиностроение, 1984. -64.с.
2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебн. пособие /А.В. Якимов, Ф. В. Нови́ков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
3. Новиков Г.В. Расчет напряжений при резании металлов. – Вісник Інженерної академії України. -К., - Вып. 3, 2001. – С. 244-248.

УДК 621.9.011

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ЗОНЕ КОНТАКТА ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ

Ларшин В.П. докт. техн. наук, проф., Лищенко Н.В. аспирант,
Якимов А.В. докт. техн. наук, проф.
(г. Одесса, Украина)

Thermal flow intensity method of studies along grinding wheel profile and its using ways for process diagnostics according to thermal criteria are given.

Качество поверхностного слоя беговой дорожки ходового винта передачи «винт-гайка качения» формируется на резьбошлифовальных операциях. Известно что, физико-механическое состояние поверхностного слоя резьбы ходовых винтов определяется теплонпряженностью процесса резьбошлифования, которую характеризуют температурой шлифования и глубиной образующегося дефектного слоя. В свою очередь для определения этих параметров необходимо знать плотность теплового потока в зоне контакта шлифовального круга с заготовкой. В известных работах, посвященных прогнозированию теплонпряженности различных процессов шлифования, определение плотности теплового потока q производят путем деления мощности шлифования P на площадь пятна контакта S между кругом и заготовкой, т.е. [1]

$$q = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Однако при таком подходе предполагается, что плотность теплового потока равномерно распределена по пятну контакта. В то же время имеющиеся данные свидетельствуют о существенном влиянии закона распределения плотности теплового потока по пятну контакта на контактную температуру на различных участках контакта профильного шлифовального круга [2].

Известны попытки учета фактического распределения плотности теплового потока по пятну контакта при профильном шлифовании путем предварительного экспериментального исследования плотности теплового потока [3] и теоретического исследования [4]. Однако оба эти подхода характеризуют метод управления в режиме разделения времени (off-line), когда управление процессом осуществляют на основании предварительно полученных данных о нем. Т.е. при обработке конкретной детали не учитываются ее индивидуальные свойства. Известно, что более прогрессивным методом управления процессом является управление в режиме реального времени (on-line). Разновидностью такого управления является диагностика процесса по температурному критерию, учитывающая индивидуальные свойства элементов технологической системы, и позволяющая учесть фактическое распределение плотности теплового потока по профилю круга при обработке каждой конкретной заготовки.

На кафедре «Технология машиностроения» Одесского национального политехнического университета раз-

работан метод определения плотности теплового потока на различных участках профиля шлифовального круга, заключающийся в определении отношения приращения мощности шлифования к приращению площади пятна контакта на участке врезания, т.е. в начале каждого прохода резбошлифования [5]. Однако до сих пор, этот метод не получил должного экспериментального исследования и внедрения в лабораторную и производственную практику. Не известна погрешность метода и влияние количества исследуемых участков профиля на величину этой погрешности. Эти и другие вопросы составляют предмет настоящей статьи.

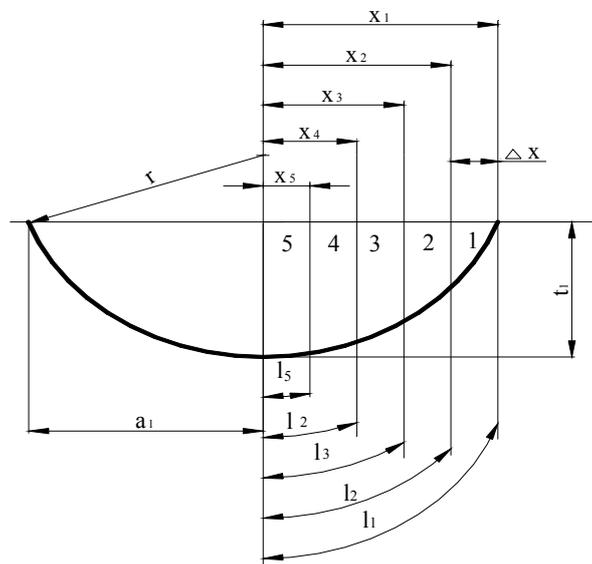


Рис.1. Сечение срезаемого слоя на первом проходе резбошлифования: a_1 - полуширина сечения среза; r - радиус профиля шлифовального круга; t_1 - глубина шлифования; x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 - координаты исследуемых (дискретных) участков (участки 1-5) профиля; l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 - длины дуг контакта в поперечном сечении.

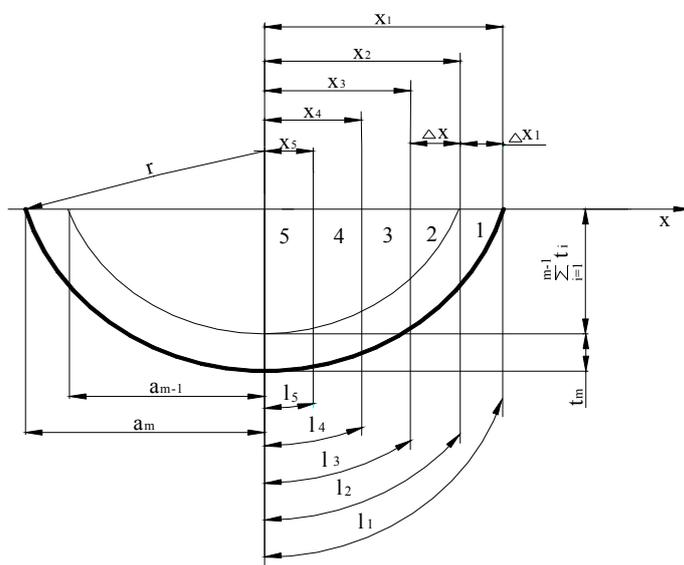


Рис.2. Сечение срезаемого слоя на m -ом ($2 \leq m \leq n$) проходе резбошлифования: a_{m-1} - полуширина сечения среза на $(m-1)$ -ом проходе; a_m - полуширина сечения среза на m -ом проходе; t_m - глубина шлифования на m -ом проходе; $\sum_{i=1}^{m-1} t_i$ - глубина шлифования на $(m-1)$ -ом проходе.

Экспериментальные исследования плотности теплового потока проводили на резбошлифовальном станке 5822М при обработке заготовки ходового винта из стали 8ХФ, закаленной до твердости 58-62 HRC, диаметр заготовки 98 мм. Режимы резбошлифования: частота вращения заготовки 1 об/мин; распределение припуска по проходам: $t_1=0,744$ мм; $t_2=0,464$ мм; $t_3=0,409$ мм; $t_4=0,383$ мм. Каждый опыт повторяли не менее 3-х раз. Шлифовальный круг 24А40СМ17К6 диаметром 300 мм, с радиусом профиля $r=3$ мм. В ходе эксперимента измеряли мощность, затрачиваемую на шлифование, при врезании профиля круга в заготовку и осевое положе-

ние профиля круга относительно заготовки, позволяющее определить площадь пятна контакта в любой момент времени врезания. Плотность теплового потока в различных сечениях профиля круга определяли путем вычисления отношения приращения измеренной мощности шлифования к приращению вычисленной площади пятна контакта. Мощность шлифования определяли путем измерения мощности электродвигателя привода шлифовального круга при помощи самопишущего ваттметра, который дополнительно тарировали одноименным прецизионным прибором типа Д566.

Для определения площади контакта рассмотрены схемы шлифования резьбы полукруглого профиля на различных проходах: первом (рис.1), и последующих (рис.2).

Как видно из рис.1, для любого прохода ($t_1=0,744$ мм, $t_2=0,464$ мм, $t_3=0,409$ мм, $t_4=0,383$ мм) полуширину a_m сечения среза можно определить по формуле

$$a_m = \sqrt{r^2 - (r - \sum_{i=1}^m t_i)^2}. \quad (2)$$

Например, для первого прохода

$$a_1 = x_1 = \sqrt{r^2 - (r - t_1)^2}. \quad (3)$$

Для принятых данных $a_1 = x_1 = 1,977$ мм.

Приращение Δx по координате x составляет

$$\Delta x = \frac{a_1}{k_{\max}}, \quad (4)$$

где k_{\max} - количество участков (на рис.1 $k_{\max} = 5$). Для принятых данных $\Delta x = 1,977/5 = 0,3954$ мм.

Для любого целого k ($1 \leq k \leq 5$)

$$l_k = r \arcsin \frac{x_k}{r}. \quad (5)$$

Площадь S_k каждого участка контакта может быть найдена по формуле [2]

$$S_k = \int_{l_{k-1}}^{l_k} L(l_k) dl, \quad (6)$$

где $L(l_k)$ - длина дуги контакта в направлении вектора скорости детали, зависящая от l_k . В свою очередь [2]

$$L(l_k) = \sqrt{\frac{D \cdot d}{D + d}} \cdot t(l_k). \quad (7)$$

Из геометрической схемы на рис.1 можно установить зависимость мгновенной глубины резания $t(l_k)$ от длины дуги контакта l_k , причем

$$t(l_k) = t + r \left(\cos \frac{l_k}{r} - 1 \right). \quad (8)$$

С учетом выражений (6)-(8) площадь S_k можно определить по формуле

$$S_k = \sqrt{\frac{D \cdot d}{D + d}} \cdot \int_{l_{k-1}}^{l_k} (\sqrt{t(l_k)}) dl = \sqrt{\frac{D \cdot d}{D + d}} \cdot \int_{l_{k-1}}^{l_k} \left(\sqrt{r \cdot \left(\cos \frac{l_k}{r} - 1 \right) + t} \right) dl. \quad (9)$$

Результаты расчета параметров x_k , l_k и S_k для первого прохода сведем в таблицу (табл.1).

Таблица 1

k	1	2	3	4	5
x_k , мм	1,9770	1,5816	1,1862	0,7908	0,3954
l_k , мм	2,157	1,665	1,220	0,800	0,396
S_k , мм ²	1,538	2,073	2,551	2,773	2,884

Из рис.2 следует, что для второго и последующих проходов

$$\Delta x_1 = a_m - a_{m-1}. \quad (10)$$

Приращение Δx по координате x составляет

$$\Delta x = \frac{a_{m-1}}{k_{\max} - 1}. \quad (11)$$

Площади контакта на участках 2, 3, 4, 5 ($2 \leq k \leq 5$) можно определить по формуле

$$S_k = \Delta l_k \cdot L(l_k), \quad (12)$$

где Δl_k - длина дуги контакта в поперечном сечении срезаемого слоя на k -ом ($2 \leq k \leq 5$) участке.

Площадь контакта на участке 1 (рис.2)

$$S_1 = \frac{1}{2} \cdot \Delta l_1 \cdot L(l_1). \quad (13)$$

Результаты расчета параметров Δx_1 , a_m , Δx для последующих проходов сведем в таблицу (табл.2).

Номер прохода	2	3	4
Δx_1 , мм	0,423	0,260	0,168
a_m , мм	2,400	2,660	2,830
Δx , мм	0,494	0,600	0,665

Результаты расчета параметров x_k , l_k , Δl_k и S_k для последующих проходов сведем в таблицу (табл.3).

Таблица 3

Для второго прохода					
k	1	2	3	4	5
x_k , мм	2,400	1,977	1,480	0,988	0,494
l_k , мм	2,780	2,158	1,548	1,006	0,497
Δl_k , мм	0,622	0,610	0,542	0,509	0,497
S_k , мм ²	1,821	3,571	3,173	2,980	2,909
Для третьего прохода					
k	1	2	3	4	5
x_k , мм	2,66	2,40	1,80	1,20	0,60
l_k , мм	3,267	2,785	1,932	1,236	0,603
Δl_k , мм	0,482	0,853	0,696	0,633	0,603
S_k , мм ²	1,325	4,689	3,826	3,480	3,314
Для четвертого прохода					
k	1	2	3	4	5
x_k , мм	2,830	2,660	1,995	1,330	0,665
l_k , мм	3,69	3,267	2,128	1,337	0,67
Δl_k , мм	0,429	1,139	0,751	0,707	0,67
S_k , мм ²	1,141	6,058	3,995	3,761	3,564

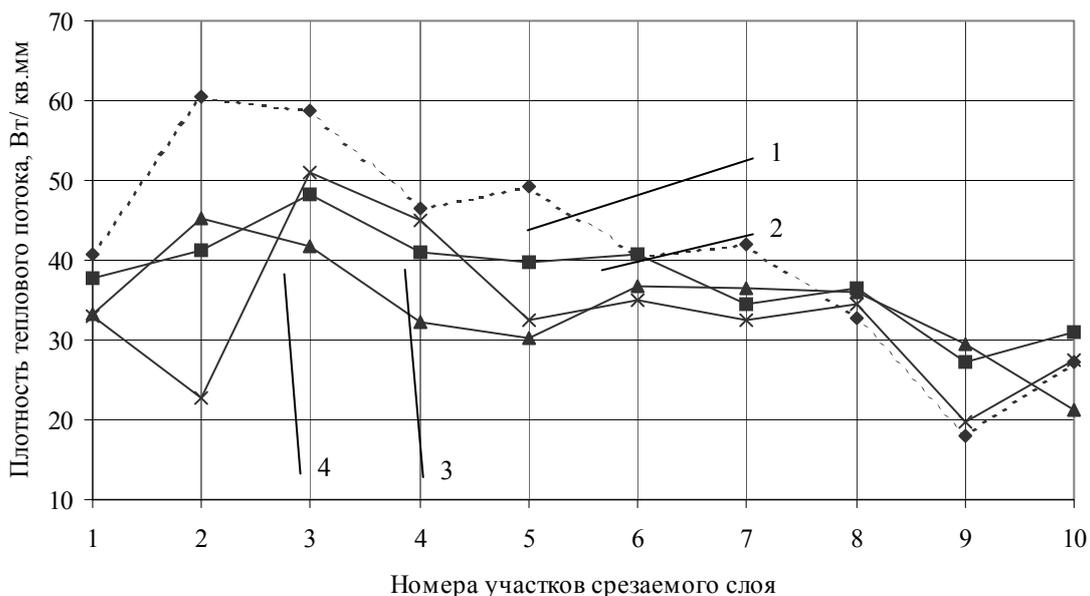


Рис.3. Распределение плотности теплового потока по участкам срезанного слоя: 1, 2, 3, 4- на 1-ом, 2-ом, 3-ем и 4-ом проходах

На рис. 5 приведено распределение плотности теплового потока по профилю шлифовального круга на различных проходах резьбошлифования. Расчет плотности теплового потока на k -ом участке m -ого прохода про-

изводили путем определения отношения приращения мощности шлифования ΔP_{mk} к приращению площади пятна контакта ΔS_{mk} [5], причем величина ΔS_{mk} в процессе врезания круга в заготовку изменяется на любом m -ом проходе ($1 \leq m \leq n$) от 0 до $\sum_{k=1}^{10} S_{mk}$ (для десяти исследуемых участков профиля). При этом мощность резбошлифования и площадь пятна контакта после окончания этапа врезания (конец участка 10 на рис. 4 и 5) соответственно составляют

$$P_m = \sum_{k=1}^{10} \Delta P_{mk}, \quad (14)$$

$$S_m = \sum_{k=1}^{10} \Delta S_{mk}. \quad (15)$$

Таким образом, рассмотренный в статье метод исследования плотности теплового потока по профилю шлифовального круга позволяет определить мгновенную (q_{mk}) и усредненную ($q_{m.cp.}$) величину указанного параметра в процессе врезания и после его окончания, соответственно, причем

$$q_{mk} = \frac{\Delta P_{mk}}{\Delta S_{mk}}, \quad (16)$$

$$q_{m.cp.} = \frac{P_m}{S_m}. \quad (17)$$

Это позволяет производить диагностику процесса резбошлифования по температурному критерию с учетом неравномерного распределения плотности теплового потока по профилю шлифовального круга. Например, на рис.5 приведены результаты определения плотности теплового потока по данному методу. Видно, что наиболее нагруженным профилем является тот, который первым вступает в работу (профиль, состоящий из участков 1-5 на рис.5). Кроме того, плотности теплового потока на первом проходе резбошлифования (пунктирная кривая на рис.5) в целом выше, чем на остальных. В то же время, мощность резбошлифования на первом проходе (пунктирная кривая на рис.4) ниже, чем на остальных проходах.

Следует отметить, что вариантов усреднения может быть несколько, например, можно определить среднюю величину плотности теплового потока раздельно по левому и правому профилям шлифовального круга,

$$q_{m.пр.} = \frac{\sum_{k=1}^5 \Delta P_{mk}}{\sum_{k=1}^5 \Delta S_{mk}}, \quad q_{m.лев.} = \frac{\sum_{k=6}^{10} \Delta P_{mk}}{\sum_{k=6}^{10} \Delta S_{mk}}. \quad (18, 19)$$

Например, для принятых выше исходных данных расчет по формулам (17)-(19) позволил получить результаты, приведенные в табл.4.

Таблица 4

Номер прохода	1	2	3	4
$q_{m.пр.}$, Вт/мм ²	33,50	33,94	33,25	28,86
$q_{m.лев.}$, Вт/мм ²	51,48	41,94	37,76	31,72
$q_{m.cp.}$, Вт/мм ²	42,49	37,94	35,51	30,29

Известно, что информация о плотности теплового потока позволяет прогнозировать распределение температуры шлифования по профилю шлифовального круга. Поэтому рассмотренный в статье метод определения плотности теплового потока может быть использован при разработке компьютерной системы диагностики процесса резбошлифования по температурному критерию. Такая система диагностики разрабатывается на кафедре технологии машиностроения Одесского национального политехнического университета.

Литература

1. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности.- М.: Машиностроение, 1978.- 167 с.
2. Управление процессом шлифования / Якимов А.В., Паршаков А.Н., Свирщев В.И., Ларшин В.П. - К.: Техніка, 1983.- 184 с.
3. Мубаракшин Р.М. Исследование процесса и разработка методов повышения качества и производительности профильного шлифования: Автореф. дис. ...канд.техн.наук.- Одесса, 1978.-16 с.
4. Якимов А.В., Русавский Ю.П., Ларшин В.П. Влияние погрешности резьбы на качество ее поверхностного слоя при шлифовании. // Прогрессивные методы повышения качества, долговечности и надежности деталей машин при алмазно-абразивной обработке: Тез. докл. конф.- Волжский, 1981, С. 99-100.
5. А.с. 1288039А1 СССР МКИ В24В 51/00. Способ управления шлифованием / А.В. Якимов, В.П.Ларшин, В.Ф.Соколов, А.М.Скляр, Д.А.Севрюгин. Опубл. 07.02.87. Бюл. № 5.- 4 с.

УДК 621.923.6

ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕННОСТИ ИСТОЧНИКА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ**Якимов А.А., канд. техн. наук, Якимова О.А.***(г. Одесса, Украина)*

In activity the calculations of temperature fields are adduced at grinding with allowance for boundednesses of a heat source.

При решении тепловых задач зону контакта шлифовального круга с деталью обычно принимают как бесконечно длинный полосовой источник,двигающийся с постоянной скоростью по поверхности в направлении оси Z. В реальных условиях шлифования зона контакта круга с деталью представляет собой полосу ограниченной длины. В связи с этим возникает необходимость оценить при каких условиях и с какой степенью точности реальную зону контакта можно представлять, как бесконечно длинным полосовым источником. Нужно определить степень влияния ограниченности источника на температурное поле. Этот вопрос становится особенно важным в тех случаях, когда зона контакта круга с деталью имеет вытянутую форму вдоль направления движения. Такие случаи реализуются при торцевом шлифовании чашечным кругом, при шлифовании зубчатых колес

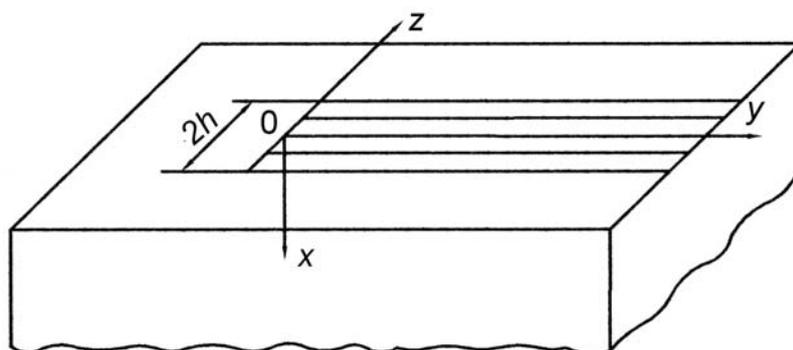


Рис. 1. Расчетная схема.

на станке НАИЛС (5831, 5841), при многониточном шлифовании резьбы ходовых винтов шариковых винтовых передач и других схемах шлифования.

Некоторые сведения о влиянии ограниченности теплового источника на температуру содержится в работах Иегера Д.К. [1], Сипайлова В.А. [2], в которых приведены расчеты квадратного теплового источника по сравнению с полосовым полубесконечной длины.

При различных схемах шлифования диапазон изменения параметров площадей тепловых источников может быть самым разнообразным,

поэтому для разработки компьютерной системы диагностики тепловых процессов при шлифовании необходимо иметь четкое представление о степени влияния ограниченности тепловых источников на распределение температуры в зоне контакта.

Для оценки влияния ограниченности теплового источника рассмотрим полуограниченный источник (рис. 1), движущийся по поверхности полубесконечного тела без теплообмена. Начало координат в системе, связанной с источником, поместим в начале полосы, как показано на рисунке. Тогда температурное поле может быть описано с помощью интегрирования функции источника, описывающей температурное поле стационарного точечного источника.

Температурное поле полуограниченного полосового источника описывается функцией

$$T = \int_{-h}^h \frac{q dz'}{2\pi\lambda} \exp\left[-\frac{V(z-z')}{2a}\right] \cdot \int_0^{\infty} \frac{dy'}{\sqrt{x^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} \exp\left[-\frac{V}{2a} \sqrt{x^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}\right]. \quad (1)$$

Произведя замену $\frac{V(y-y')}{2a} = \eta$; $-\frac{V dy'}{2a} = d\eta$ выражение (1) преобразуем к виду

$$T = \int_{-h}^h \frac{q}{2\pi\lambda} \exp\left[-\frac{V(z-z')}{2a}\right] dz' \cdot \left\{ \int_0^{\infty} \frac{d\eta}{\sqrt{\frac{V^2}{4a^2} [x^2 + (z-z')^2] + \eta^2}} \exp\left(-\sqrt{\frac{V^2}{4a^2} [x^2 + (z-z')^2] + \eta^2}\right) + \right. \\ \left. + \int_0^{\frac{Vy}{2a}} \frac{d\eta}{\sqrt{\frac{V^2}{4a^2} [x^2 + (z-z')^2] + \eta^2}} \exp\left(-\sqrt{\frac{V^2}{4a^2} [x^2 + (z-z')^2] + \eta^2}\right) \right\}. \quad (2)$$

Первый и второй интегралы выражаются через функцию Бесселя второго рода нулевого порядка мнимого аргумента. Причем второй интеграл будет добавляться к первому при положительном значении верхнего предела $\frac{Vy}{2a}$ и вычитаться – при отрицательном.

Представим выражение (2) в безразмерных параметрах

$$T = \int_{Z-H}^{Z+H} \frac{qa}{\pi\lambda V} \exp(-\xi) \cdot \left\{ k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right) + \int_0^{\frac{V_y}{2a}} \frac{d\eta}{\sqrt{X^2 + \xi^2 + \eta^2}} \exp\left(-\sqrt{X^2 + \xi^2 + \eta^2}\right) \right\} d\xi, \quad (3)$$

где $Z = \frac{Vz}{2a}$; $H = \frac{Vh}{2a}$; $X = \frac{Vx}{2a}$; $\xi = \frac{V}{2a} \cdot (z - z')$.

Для анализа выражения (3) удобно представить его в виде произведения бесконечно длинного источника на множитель характеризующий ограниченность источника. Умножив и разделив второе слагаемое выражения (3) на $2k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right)$ и вынося за скобки $2k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right)$ получим

$$T = \int_{Z-H}^{Z+H} \frac{2qa}{\pi\lambda V} \exp(-\xi) \cdot \left\{ k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right) \cdot \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\int_0^{\frac{V_y}{2a}} \frac{d\eta}{\sqrt{X^2 + \xi^2 + \eta^2}} \exp\left(-\sqrt{X^2 + \xi^2 + \eta^2}\right)}{k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right)} \right] \right\} d\xi. \quad (4)$$

Исследования поведения множителя

$$M(X, Y, \xi) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{\int_0^{\frac{V_y}{2a}} \frac{d\eta}{\sqrt{X^2 + \xi^2 + \eta^2}} \exp\left(-\sqrt{X^2 + \xi^2 + \eta^2}\right)}{k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right)} \right\}, \quad (5)$$

при различных значениях аргументов позволяет получить информацию о влиянии ограничений тепловых источников на температурное поле. Окончательное выражение для расчета температурного поля в областях прилегающих к границам тепловых источников имеет вид

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{Z-H}^{Z+H} M(\xi, X) \exp(-\xi) \cdot k_0 \left(\sqrt{X^2 + \xi^2} \right) d\xi. \quad (6)$$

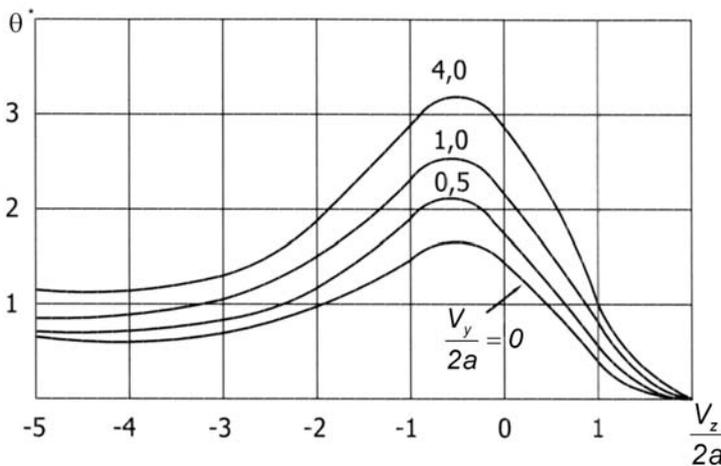


Рис. 2. Температурные кривые вблизи конца полосы/

Для оценки зоны влияния ограниченности изделия на температуру в размерном виде рассмотрен процесс шлифования инструментальной стали ($a=0,1 \text{ см}^2/\text{с}$) на режиме $V_0 = 6 \text{ м/мин}$; $2h = 2 \text{ мм}$. При этих условиях $H=5$, параметр $\frac{V_y}{2a} = 4$.

Глубина зоны влияния ограниченности изделия на температуру определится из выражения

$$y = \frac{2a \cdot 4}{V} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 4}{10} = 0,08 \text{ см}.$$

Таким образом, для рассматриваемого случая зона влияния ограниченности источника на температуру не превышает 1 мм.

Если зона контакта шлифовального круга имеет форму вытянутого вдоль направления движения теплового

Из анализа выражения множителя (5) видно, что при $Y = 0$ независимо от параметров ξ и X , множитель $M=1/2$. Это значит, что температура на границе полосы зоны контакта в 2 раза ниже, чем в удаленных от границы точках зоны контакта. При $Y \rightarrow \infty$ множитель $M=1$.

В качестве примера на рис. 2 показаны кривые изменения температуры на поверхности $X = 0$ при различных значениях параметра $\frac{V_y}{2a}$ (от 0 до 4).

Исследования показали, что увеличение параметра $\frac{V_y}{2a}$ в интервале от 4 до ∞ не вызывает дальнейшего роста температуры.

источника, то в этом случае необходимо учитывать не одну, а две ограничивающих границы зоны контакта.

Уравнение, описывающее температуру в центре теплового источника с учетом двустороннего его ограничения, имеет вид

$$\frac{\pi\lambda VT}{2qa} = \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) \cdot k_0(\xi) d\xi - \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) d\xi \int_L^\infty \frac{\exp(-\sqrt{\xi^2 + \eta^2})}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} d\eta. \quad (7)$$

Уравнение (7) можно представить в виде произведения функции полосового источника и множителя учитывающего двухстороннее ограничение зоны контакта. Вынося за скобки выражение $\int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) \cdot k_0(\xi) d\xi$ уравнение

(7) преобразуется к виду

$$\frac{\pi\lambda VT}{2qa} = \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-\xi) \cdot k_0(\xi) d\xi \left\{ 1 - \frac{\int_L^\infty \frac{\exp(-\sqrt{\xi^2 + \eta^2})}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} d\eta}{k_0(\xi)} \right\}. \quad (8)$$

Из анализа выражения (8) следует, что при увеличении L выражение в фигурных скобках стремится к единице, а при $L \rightarrow 0$ выражение в фигурных скобках стремится к нулю.

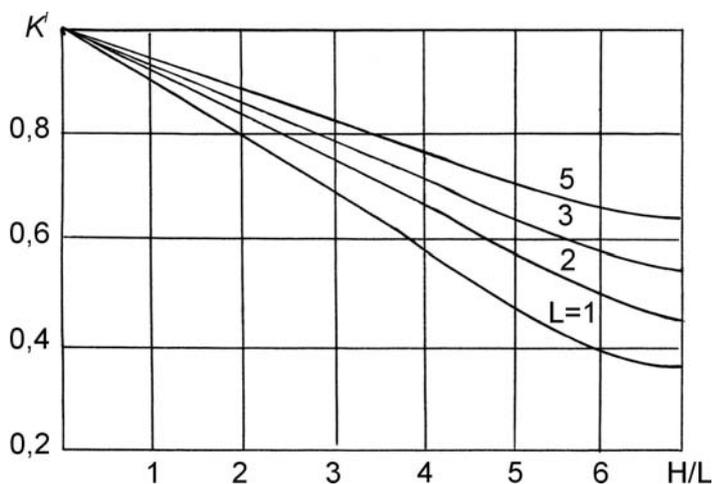


Рис. 3. Влияние ограниченности источника на температуру в среднем его сечении.

О влиянии ограниченности источника на температурное поле можно лишь говорить в тех случаях, когда соотношение H/L больше двух, т.е. длина зоны контакта в направлении движения теплового источника больше ширины, более чем в два раза. Так, например, для квадратного источника, рассмотренного в работе [1] влияние ограниченности источника на температуру ничтожно мало.

В пределах зоны контакта множитель $M(\xi, L)$ изменяется незначительно, поэтому можно считать, что в любой точке среднего сечения зоны контакта температура от ограниченности источника будет изменяться одинаково. При этом допущении множитель M будет определяться только лишь отношением H/L и величиной L .

На рис. 3 представлено семейство кривых, позволяющих рассчитывать температуру в средней части зоны контакта.

Температура рассчитывается для бесконечно длинного полосового источника и умножается на множитель k , которым учитывает степень понижения температуры за счет ограниченности источника. Выражение в квадратных скобках позволяет

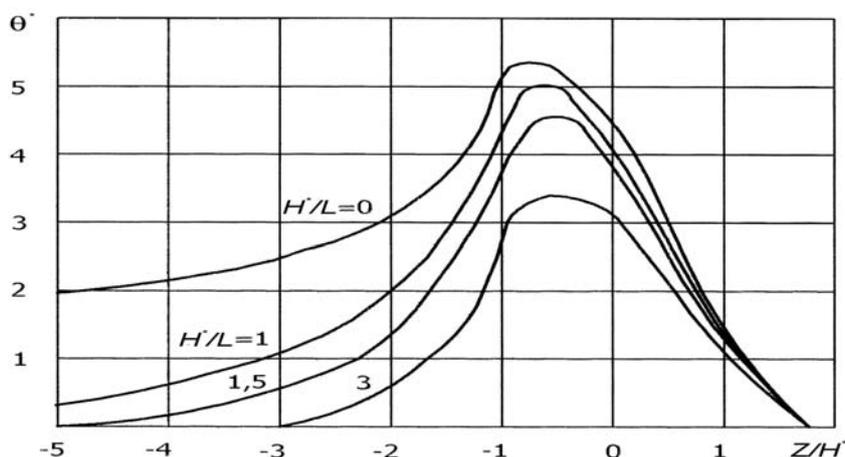


Рис. 4. Распределение температуры на поверхности в среднем сечении ограниченного источника.

определить влияние ограниченности источника на температуру в среднем сечении зоны контакта.

Следует обратить внимание (рис. 3), что при больших значениях длины источника L степень снижения температуры за счет ограниченности источника уменьшается. Например, при $L=5$ и отношению $H/L=7$ температура за счет ограничения понижается только лишь на 35%.

В качестве примера на рис. 4 приведены кривые распределения относительной тем-

пературы поверхности для источника $H = 3$ соответственно при $L = \infty, 3, 2, 1$. Видно, что с уменьшением длины L степень понижения максимальной температуры за счет ограничения источника, возрастает.

Литература

1. Иегер Д.К. Движущиеся источники тепла и температура трения. Прикладная механика к машиностроению – № 6, –1952.
2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, –1978. –167с.

УДК 621.923

ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Фадеев В.А., канд. техн. наук, Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In activity on the basis of the idealized approach the reduced analysis of change of elastic moving and processing capacity in processt grinding.

Применение инструментов из синтетических сверхтвердых материалов в силу их высокой режущей способности открыло широкие возможности высокоточной обработки изделий из самых твердых материалов. Вместе с тем, как показывает практика, процессы алмазно-абразивной обработки (шлифования и доводки), по-прежнему, остаются весьма трудоемкими при решении задач точности. Это относится к обработке как связанным, так и свободным абразивом (алмазом).

Для анализа технологических возможностей алмазно-абразивной обработки по обеспечению показателей точности обрабатываемых поверхностей, рассмотрим полученные нами аналитические зависимости для расчета величины упругого перемещения y и производительности Q при шлифовании (этап выхаживания, т.е. при отсутствии радиальной подачи) [1]:

$$y = \frac{\Pi}{\left(1 + \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot B} \cdot \frac{c \cdot K_{рез} \cdot V_{рез}}{\sigma}\right)}, \quad (1)$$

$$Q = \frac{\Pi}{\left(\frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot B} + \frac{\sigma}{c \cdot K_{рез} \cdot V_{рез}}\right)}, \quad (2)$$

где Π - величина снимаемого припуска, м; τ - время обработки, с; $D_{дет}$ - диаметр детали, м; B - ширина шлифования, м; c - приведенная жесткость технологической системы, н/м; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с; σ - условное напряжение резания, н/м²; $K_{рез}$ - коэффициент резания при шлифовании, равный отношению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания.

Из приведенных зависимостей следует, что с течением времени обработки τ показатели y и Q уменьшаются, т.е. уменьшается погрешность размера детали. В зависимости (1) и (2) входит соотношение $K_{рез} / \sigma$, которое в процессе обработки изменяется в зависимости от режущей способности и шлифовального круга и толщин единичных срезов. Например, по мере затупления круга соотношение $K_{рез} / \sigma$ уменьшается. Это при определенных условиях может привести к тому, что произведение τ и $K_{рез} / \sigma$ будет оставаться постоянным и исправления погрешности обработки (уменьшения величины y) не произойдет. Чтобы обеспечить в процессе обработки уменьшение y , необходимо, во-первых, реализовать максимально возможное значение $K_{рез} / \sigma$, во-вторых, стабилизировать его во времени за счет применения эффективных методов непрерывной правки круга и других средств.

Наибольший эффект будет достигаться при условии, если знаменатель зависимости (1) значительно больше единицы. Если знаменатель незначительно отличается от единицы (например, равен 1,1), то с течением времени величина y будет уменьшаться незначительно и процесс исправления погрешности обработки окажется продолжительным.

Из этого следует, что для увеличения знаменателя зависимости (1) необходимо, наряду с увеличением τ и $K_{рез} / \sigma$, увеличивать параметры c и $V_{кр}$, уменьшать ширину шлифования B . Учитывая важность отношения $K_{рез} / \sigma$ в формировании точности обработки, рассмотрим аналитическую зависимость для его определения, приведенную в работе [2]:

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{\rho}\right)^2}, \quad (3)$$

где HV , $\tau_{сдв}$ - соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, н/м²; a_z - толщина единичного среза, м; ρ - радиус округления вершины режущего зерна, м.

Как видим, отношение $K_{рез}/\sigma$ вполне однозначно определяется известным отношением a_z/ρ . Между ними существует почти линейная зависимость. Это подтверждает то, что отношение a_z/ρ не случайно в теории шлифования признано основным физическим параметром, определяющим силовую напряженность процесса микрорезания.

В качестве параметра a_z будем рассматривать максимальную толщину среза при шлифовании, которая описывается зависимостью [2]:

$$a_z = \frac{315 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дем} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}}\right)}}{m \cdot V_{кр} \cdot \rho^2}, \quad (4)$$

где \bar{x} и m - зернистость и объемная концентрация зерен в алмазном круге; $V_{дем}$ - скорость детали, м/с; t - глубина шлифования, м; $R_{кр}$, $R_{дем}$ - радиусы круга и детали, м; ρ - радиус округления вершины режущего зерна, м.

Подставляя (4) в зависимость (3), имеем:

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{\bar{x}^2}{3 \cdot \rho^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left[\frac{315 \cdot \pi \cdot V_{дем} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}}\right)}}{m \cdot V_{кр}} \right]^2}. \quad (5)$$

Наибольшее влияние на отношение $K_{рез}/\sigma$ оказывают параметры ρ и \bar{x} . По мере затупления зерен круга их радиусы ρ увеличиваются, что приводит к уменьшению $K_{рез}/\sigma$. Следовательно, основным условием увеличения отношения $K_{рез}/\sigma$ и повышения эффективности шлифования необходимо рассматривать обеспечение высокой остроты режущих зерен круга. Исходя из зависимости (5), увеличением зернистости круга \bar{x} также можно добиться существенного увеличения отношения $K_{рез}/\sigma$. Однако, как известно, с увеличением \bar{x} увеличивается радиус ρ , что препятствует росту отношения $K_{рез}/\sigma$.

В рассматриваемом процессе выхаживания при шлифовании поперечная подача равна нулю. Съем металла происходит за счет упругих перемещений в технологической системе. Очевидно, фактическая глубина шлифования t с течением времени будет уменьшаться (вплоть до нуля) и исходя из зависимости (5), будет приводить к уменьшению отношения $K_{рез}/\sigma$ по закону $t^{\frac{1}{3}}$. Как видим, интенсивность уменьшения $K_{рез}/\sigma$ не столь существенна. Это не внесет принципиальных изменений в зависимость (1): величина упругого перемещения y с течением времени обработки τ будет непрерывно уменьшаться. Однако, с меньшей интенсивностью, чем при $K_{рез}/\sigma = const$. Для сохранения данной зависимости, как отмечалось выше, необходимо чтобы знаменатель зависимости (1) был значительно больше единицы.

Произведем количественную оценку влияния изменения соотношения $K_{рез}/\sigma$ на показатели Q и y .

Для этого в зависимости (5) произведение параметров режима шлифования $V_{дем} \cdot t$ выразим через производительность обработки $Q = B \cdot V_{дем} \cdot t$. Если подставить преобразованную зависимость (5) в (2), то приходим к уравнению относительно неизвестной Q :

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{\frac{2}{3}} - P = 0, \quad (6)$$

где $M = \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дем} \cdot B}$,

$$N = \frac{3 \cdot \rho^2}{c \cdot V_{кр} \cdot \bar{x}^2} \sqrt[3]{\frac{HV^2 \cdot \tau_{сдв}}{2} \left[\frac{m \cdot V_{кр}}{315 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{V_{дет}}{B} \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}} \right)}} \right]^2}$$

Данное уравнение может быть решено лишь численным методом. Для наглядности решения упростим уравнение (6), рассматривая его в виде квадратного уравнения:

$$M \cdot Q + N \cdot Q^{\frac{1}{2}} - \Pi = 0$$

или

$$x^2 + \frac{N}{M} \cdot x - \frac{\Pi}{M} = 0, \quad (7)$$

где $x^2 = Q$.

Решая квадратное уравнение, после несложных преобразований, имеем:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi} + \frac{M}{\Pi}} \right)}}. \quad (8)$$

Из зависимости (8) следует, что увеличить производительность обработки Q можно увеличением величины снимаемого припуска Π и уменьшением параметров N и M . Уменьшение N предполагает уменьшение ρ , B , m и увеличение c , $V_{кр}$, $V_{дет}$, \bar{x} . Уменьшение N предполагает уменьшение времени обработки τ , т.е. с течением времени τ производительность обработки Q будет уменьшаться. Это согласуется с начальной зависимостью (2), рассматривая в ней отношение $K_{рез}/\sigma$ постоянным. Однако, влияние времени обработки τ на Q в зависимости (8) значительно ниже, чем в зависимости (2). Следовательно, продолжительнее процесс устранения погрешности размера обрабатываемой детали. Чтобы усилить влияние времени обработки τ на производительность Q , необходимо в зависимости (8) существенно уменьшить параметр N , а параметр M , наоборот, увеличить.

Уменьшение параметра N связано в первую очередь с уменьшением радиуса округления вершины режущего зерна ρ и увеличением зернистости круга \bar{x} . Увеличить параметр M можно главным образом за счет уменьшения ширины шлифования B , так как $D_{дет}$ - заданная величина.

Если в зависимости (8) слагаемое $\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2}$ будет больше слагаемого $\frac{M}{\Pi}$, то влияние времени обработки τ на

производительность будет несущественно и процесс исправления погрешности обработки «растянется» во времени. Это подтверждается практикой шлифования, в особенности при резании затупленным инструментом, когда в процессе длительного выхаживания не удастся добиться заметного уменьшения величины упругого перемещения y . Данная закономерность имеет место и при шлифовании алмазным инструментом. В этом случае определяющим фактором является существенное увеличение условного напряжения резания σ за счет увеличения трения связки круга (в особенности металлической связки) с обрабатываемым материалом. В результате отношение $K_{рез}/\sigma$ резко уменьшается и знаменатель зависимости (1) мало отличается от единицы, что не позволяет практически реализовать процесс выхаживания.

Таким образом, на основе теоретического анализа выявлены основные закономерности, способствующие повышению точности и производительности при алмазно-абразивной обработке.

Литература

1. Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Управление упругими перемещениями при финишной механической обработке. – Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тем. випуск: Технолії в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП», 2002, - № 19. – С. 153-159.
2. Качество и производительность алмазно-абразивной обработки: Учебное пособие /А.В.Якимов, Ф.В.Новиков, Г.В.Новиков, А.А.Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
3. Фадеев В.А. Научный подход к выбору оптимальных способов и условий финишной обработки агрегатов авиационной техники. - Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. «ХАИ». Выпуск 14. – Харьков: «ХАИ», 2000. – с. 36-40.
4. Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Механика внутреннего алмазного шлифования. – Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 10-11 октября 2002 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД»; 2002. – с. 10-13.

УДК 621.952.5

МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ПРИ ПОДРЕЗКЕ ТОРЦОВ ОСЕВОЙ ПОДАЧЕЙ НА ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

Линчевский П.А., докт. техн. наук, проф., Чмых А.П.

(г. Одесса, Украина)

The Brought methods of the calculation at most possible sizes pruned butt end under different condition of the processing. The Offered methods of the removal vibration when processing butt end by axial presenting.

Обычно операции растачивания отверстий с подрезкой торцов выполняют специальными резцовыми головками. Торцы при этом подрезают методом радиальной подачи резца. Такой вариант выполнения указанной операции имеет следующие недостатки: сложность и громоздкость резцовой головки; высокая трудоемкость ее изготовления; невозможность полного устранения дисбаланса головки, вызывающего вибрации в процессе резания и увеличение шероховатости обработанной поверхности; малая производительность процесса подрезки торца. К достоинствам метода следует отнести возможность обработки сравнительно больших торцевых поверхностей.

Производительность совмещенной операции тонкого растачивания отверстий с подрезкой торцов может быть значительно увеличена в результате использования более рациональной схемы срезания припуска на этапе подрезки торцов. Речь идет о применении более простого и производительного метода подрезки торцов осевой подачей с использованием широколезвийных резцов. Для реализации указанного метода наиболее технологичной является конструкция борштанги (рис. 1) со вставкой и сквозным прямоугольным пазом на торце для крепления резца. При такой конструкции можно осуществлять независимую настройку резца по диаметру растачиваемого отверстия и по длине обработки (координате расположения торца). Настройка на линейный размер обработки производится путем перемещения всей вставки вместе с резцом. Кроме того, благодаря открытой конструкции паза можно выполнить его обработку с высокой точностью, что в сочетании с применением точного резца прямоугольного сечения обеспечивает требуемую перпендикулярность подрезанного торца к оси растачиваемого отверстия.

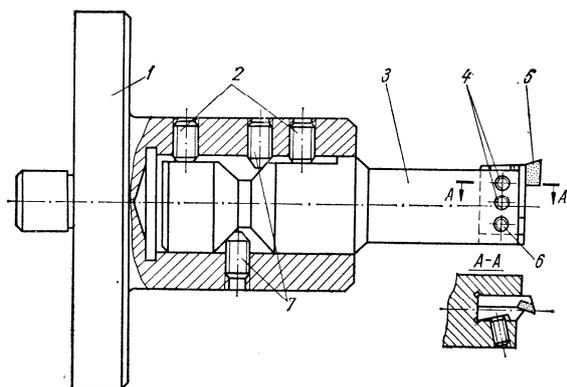


Рис 1. Борштанга для подрезки торцов методом врезания: 1 – корпус; 2 – прижимные винты; 3 – вставка; 4 – прижимные винты резца; 5 – резец; 6 – установочный винт резца; 7 – установочные винты вставки.

припуска даже при значительных размерах подрезаемых торцов вибрации, как правило, отсутствуют. Это свидетельствует о более сложном механизме образования вибраций, зависящем не только от жесткости элементов технологической системы.

С точки зрения потери виброустойчивости системы наиболее ответственной частью цикла обработки является выхаживание торца без осевой подачи. После остановки стола станка на жестком упоре величина слоя металла, срезаемого за каждый оборот борштанги определяется лишь упругими деформациями технологической системы и уменьшается с каждым оборотом. Когда толщина среза становится меньше величины радиуса округления лезвия резца, процесс резания прекращается и начинается процесс смятия металла, который сопровождается интенсивными вибрациями. Следы вибрации в виде волнистости остаются на обработанной поверхности торца, уменьшая его опорную площадь и контактную жесткость. Кроме того вибрации резко увеличивают износ и снижают стойкость режущего инструмента.

Предельно допустимые размеры подрезаемых торцов при заданной жесткости приспособления, а также известных параметрах обрабатываемого материала и режима резания можно определять расчетным путем, используя выражение:

$$b \leq \frac{T_1^2 T_2 + T_2^2 T_p + T_2 T_p^2}{1,5 K_a \sigma_g T_1^2 T_p K_{yc} \mu_{tr}} \quad (1)$$

Составляющими элементами этого выражения являются:

Одним из главных ограничивающих факторов применяемости метода осевой подачи при подрезке торцов является их величина. Чем шире подрезаемый торец, тем больше возникающие в процессе обработки осевые усилия резания и тем больше опасность появления вибраций, вызывающих волнистость обработанной поверхности. Потерю виброустойчивости технологической системы, как правило, связывают с недостаточной жесткостью ее элементов. Поэтому при проектировании отделочно-расточных станков для выполнения операции подрезки торцов широколезвийными резцами методом осевой подачи особое внимание необходимо уделять:

- жесткости приспособления;
- жесткости борштанг и резцов;
- жесткости детали и ее крепления.

Вместе с тем, анализ большого числа экспериментов по подрезке торцов на различных материалах показывает, что в процессе снятия основной части

- инерционная постоянная времени

$$T_1 = \sqrt{\frac{M}{C}},$$

где M – приведенная масса, C – жесткость системы;

- постоянная времени демпфирования

$$T_2 = \frac{H}{C},$$

где H – коэффициент демпфирования колебаний.

- постоянная времени стружкообразования

$$T_P = \frac{1,5aK_a}{V},$$

где a – толщина срезаемого слоя; K_a – коэффициент утолщения стружки; V – скорость резания.

- временное сопротивление обрабатываемого материала σ_6 ;

- приведенная статическая характеристика упругой системы

$$K_{yc} = \frac{1}{C};$$

- коэффициент трения стружки о переднюю поверхность резца μ_{mp} .

Из приведенной зависимости (1) следует, что безвибрационная подрезка торцов различной ширины зависит от конструктивных параметров системы, в первую очередь определяемых жесткостью, массой и демпфирующими свойствами, так и от целого ряда технологических параметров, определяемых свойствами обрабатываемого материала и режима резания.

Для устранения или значительного снижения уровня вибраций могут быть применены следующие конструкторско-технологические методы:

- 1) повышение жесткости технологической системы;
- 2) уменьшение подачи в процессе подрезки торца;
- 3) прерывание процесса подрезки торца в момент выхода стола станка с заготовкой на жесткий упор (исключение из цикла работы станка процесса выхаживания торца);
- 4) ограничение времени выхаживания;
- 5) введение демпфирования в крепление заготовки;
- 6) применение упругодемпфирующих (плавающих) шпиндельных узлов специальной конструкции, обеспечивающих осевое демпфирование режущего инструмента.

Первый метод устранения вибраций применим в том случае, когда обрабатываемая заготовка сама имеет высокую жесткость и ее конструкция такова, что можно применить для обработки жесткий инструмент. Остается только правильно выбрать требуемую жесткость приспособления для установки заготовки. Выбор жесткости приспособления можно осуществлять по следующей таблице (1), полученной расчетом по формуле (1) и скорректированной по результатам экспериментов.

Таблица 1

Ширина подрезаемого торца, мм		2	4	6	8	10	12
Жесткость приспособления для подрезки без выхаживания, Н/мкм	Чугун СЧ40	40	60	80	95	110	120
	Сталь 45	70	95	120	135	150	160

Если проектируется станок для процесса подрезки точного торца, предусматривающий выхаживание, то минимально допустимая жесткость приспособления должна быть увеличена вдвое по сравнению с указанной в таблице 1.

Метод уменьшения подачи при подрезке торцов наиболее простой и часто применяемый. Иногда бывает достаточно переключить станок на вторую рабочую подачу, близкую к минимальным значениям подачи стола станка. Обычно при подрезке применяются подачи в 2-3 раза меньшие, чем при растачивании отверстий. Если расчетная подача для подрезки оказывается меньше минимальной, имеющейся на станке, то применяют или гидравлический жесткий упор, или механизм малой подачи. Следует отметить, что малые подачи не всегда эффективно гасят вибрации.

Третий метод также достаточно прост, однако применять его можно только в тех случаях, когда по техническим условиям на деталь допускается наличие на торце ступеньки, по величине равной подаче на оборот, а в обработанном отверстии допускается наличие спиральной риски – следа от вывода вращающегося резца. При таком методе процесс подрезки в момент выхода на заданный линейный размер расположения торца прерывается, стол с заготовкой быстро отводится в исходное положение, а выдержка времени на жестком упоре исключается. Таким образом, исключается процесс выхаживания торца и торможения вращения шпинделя. Можно также настраивать цикл станка таким образом, чтобы происходил отрыв резца от торца на 0,3-0,4 мм, затем осуществлялась бы выдержка времени на торможение шпинделя и выполнялся обычный отвод стола в исходное положение с оставлением прямой риски от резца в обработанном отверстии.

Значительно более эффективным и перспективным является четвертый метод, основанный на ограничении

времени выхаживания. Этот метод применим во всех случаях подрезки торцов. Экспериментально установлено, что если при выхаживании резец совершает не более 1,5-2 оборотов, то вибрации или вообще не возникают, или не успевают развиваться до максимальных значений своих параметров и не влияют на качество подрезки. Для реализации указанного метода выдержка времени на упоре станка ограничивается до величины, необходимой для совершения одного полного оборота шпинделя, т.е. до $T=60/n$, где T - выдержка времени, сек; n - число оборотов шпинделя, об/мин. Время срабатывания исполнительных реле станка увеличивает расчетную выдержку до величины, необходимой для совершения части второго оборота и снятия ступеньки на торце, а также для торможения шпинделя.

Пятый и шестой методы имеют общее обоснование устранения вибраций, связанное с введением демпфирования одного из элементов конструкции станка.

В первом случае задача решается за счет установки заготовки в приспособлении таким образом, чтобы осевые силы резания не прижимали ее к корпусу приспособления, а отрывали бы от него. При этом роль демпфера осевых колебаний выполняет гидравлический зажимной механизм приспособления.

Во втором случае для устранения вибраций может быть рекомендована конструкция шпиндельной головки, допускающая упругое осевое перемещение инструмента в процессе обработки. Работает такая головка следующим образом. В конце растачивания отверстия при движении стола станка на рабочей подаче наступает момент касания широкого лезвия резца с торцом заготовки. При этом возросшая осевая сила резания перемещает инструментальную скалку и сжимает пружину, после чего стол останавливается на жестком упоре. Торцы подрезаются теперь за счет подачи инструмента сжатой пружиной, благодаря чему обеспечивается постоянство осевой силы резания. Регулирование пружины на различные усилия расширяет технологические возможности головки и позволяет обрабатывать разнообразные материалы в заготовках с различной шириной подрезаемого торца. При этом подача автоматически изменяется в зависимости от величины осевой составляющей усилия резания.

Описанные методы могут применяться как раздельно, так и в различных комбинациях.

Литература

1. Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Оргиян А.А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках. - К.: Техніка, 2001. - 300с.
2. Линчевский П.А. Конструкторско-технологические методы устранения вибраций алмазно-расточных станков при подрезке широких торцов осевой подачей // Металлорежущие станки: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - К.: Техника, 1991. - Вып. 19. - С. 8-11.

УДК 621.787

ТЕХНОЛОГІЯ ІМПУЛЬСНОГО ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ЧАВУННИХ НАПРЯМНИХ

Гурей І.В., докт. техн. наук
(м. Тернопіль, Україна)

Bench tests were leading and they show that the friction strengthening of basic details metal-working machine (flat guides) increase durability under the friction with boundary lubrication in 2.5-3 times in comprising with frames which were produced by factory practice.

Надійність машин відображає властивість зберігати необхідні якісні показники на протязі всього періоду її експлуатації. Для збереження експлуатаційних характеристик деталей машин необхідно мати чітке представлення про причини і джерела їх зниження і на основі цієї інформації створювати нові системи і технологічні процеси, які забезпечують на протязі певного періоду необхідні експлуатаційні характеристики деталей. Часто деталі машин і механізмів виходять з ладу внаслідок руйнування їх робочих поверхонь. Одним з найбільш ефективних і економічних шляхів підвищення довговічності деталей є створення на робочих поверхнях якісних зміцнених шарів або покриттів. Зміцнення тонкого поверхневого шару масивної деталі є прогресивним напрямком у технології машинобудуванні, так як дозволяє економити дороговартісні леговані сталі та сплави.

Довговічність металорізальних верстатів визначається, головним чином, зносостійкістю напрямних базових деталей. Існуючі на даний час методи зміцнення [1] трудомісткі, дорогі, потребують складного обладнання та оснащення, та не всі вони є придатними для відновлюваних робіт при середньому і капітальному ремонті. В останній час на деяких верстатобудівних заводах для підвищення зносостійкості напрямних станин верстатів використовують їх поверхневе гартування струмами високої частоти. Таке поверхневе гартування приводить до жолоблення станини, що утруднює отримання необхідної точності верстата і значно підвищує трудомісткість механічної обробки. У роботі [2] показано, що твердість металу не визначає зносостійкості загартованого чавуну. Опір зношуванню залежить, в основному, від мікроструктури матеріалу деталей пари тертя. Найбільший опір зношуванню має чавун із структурою дрібногловкового мартенситу, а найменший - із структурою грубогловкового мартенситу при обмеженій кількості залишкового аустеніту. Усунути вказані недоліки і підвищити довговічність чавунних напрямних верстатів можна досягти використовуючи методи поверхневого зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. До таких методів відноситься і фрикційне зміцнення.

Метою роботи було розробити технологічний процес поверхневого зміцнення напрямних для підвищення їх довговічності у процесі експлуатації.

Фрикційне зміцнення відноситься до методів поверхневого зміцнення із застосуванням висококонцентрованих потоків енергії. Такий потік енергії створюється за рахунок тертя зміцнювального інструмента-диска по оброблюваній деталі. При цьому відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування. Швидкість нагріву досягає 10^5 - 10^6 К/с. За короткий час поверхневі шари металу нагріваються до температур вище точки фазових перетворень (A_{c3}). Так як товщина нагрітого шару невелика, то його охолодження відбувається з великими швидкостями за рахунок відводу тепла вглибину металу. При цьому в поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу - білий шар. Структура білого шару представляє собою високодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і дуже дисперсні карбіди.

В основу технологічного процесу зміцнення напрямних станин фрезерних верстатів моделі 6520-Ф3 була покладено фрикційне зміцнення. Для фрикційного зміцнення напрямних станин фрезерного верстата використали поздовжньо-шліфувальний верстат моделі 3510. Найбільш якісний зміцнений шар при фрикційному зміцненні сірого чавуну отримується при швидкості зміцнення 60-65 м/с. Зміцнювальний інструмент-диск виготовляли з вуглецевої сталі 45 у стані постачання. На робочій частині інструмента були нарізані поперечні пази. Діаметр інструмента був такий самий як і абразивного круга, який використовується на даному шліфувальному верстаті і становив 400 мм. Для нормальної роботи інструмента з поперечною подачею і покращання якості зміцненої поверхні з його обох сторін робили радіуси не менше 3-5 мм. Загальна ширина інструмента становила 20-25 мм, ширина робочої частини - 14-16 мм. Інструмент встановлювали на шпindel поворотної головки. Після встановлення інструмента проводили його заправлення абразивним кругом з допомогою пристосування, яке використовується для заправлення алмазних кругів. Шорсткість робочої поверхні інструмента становила $R_a = 0,16$ - $0,28$ мкм, радіальне биття не перевищувало 0,02 мм.

Перед зміцненням напрямні станини шліфували за заводською технологією, витримуючи усі розміри відповідно до технічних вимог з припуском під фрикційне зміцнення, величина якого становила 0,04-0,06 мм. Фрикційне зміцнення проводили так само як і плоске шліфування за один прохід при подачі в зону обробки поверхнево-активної полімервмісної мастильно-охолоджувальної рідини МХО-64а.

Перевірка геометричних параметрів і якості зміцнення напрямних показала, що глибина зміцненого шару становила $\delta = 130$ - 160 мкм. Твердість зміцненої поверхні, визначена переносним приладом марки ТШП-4 методом Бринеля, складала НВ 200-210 проти НВ 160-170 до зміцнення. Мікротвердість білого шару становила $H_{\mu} = 6,6$ - $6,8$ ГПа при $H_{\mu} = 1,8$ - 2 ГПа основної структури. Відхилення від площинності не перевищувало 0,01 мм. Шорсткість зміцненої поверхні складала $R_a = 0,42$ - $0,59$ мкм. Точність і продуктивність фрикційного зміцнення аналогічна як і при шліфувальних операціях.

Для перевірки зносостійкості напрямних станин фрезерних верстатів після фрикційного зміцнення в умовах, близьких до експлуатаційних, був спроектований та виготовлений спеціальний стенд, загальний вигляд якого приведений на рис. 2. Він складається з гідростанції (1), станини (2), гідроциліндра (3), стола (4) і вантажів (5). Усі деталі та вузли для виготовлення стенду використані з основного виробництва. Згідно з технічними вимогами, максимально допустима вага оброблюваних деталей, які використовуються на верстаті, не перевищує 5 кН. Тому питоме навантаження на напрямні при дослідженнях складало 0,23 МПа. Стендові випробування проводили при граничному мащенні (мастило "Індустріальне-30А") і середній швидкості ковзання $V = 0,1$ м/с. Умови роботи стенду імітували роботу фрезерного верстату моделі 6502-Ф3 з максимально допустимою вагою оброблюваних деталей.

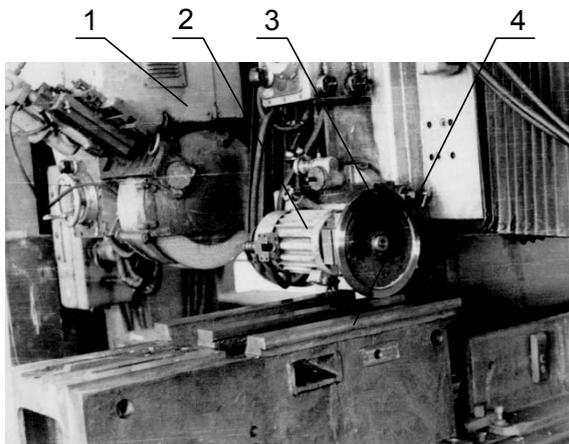


Рис. 1. Загальний вигляд установки для фрикційного зміцнення напрямних станин: 1 - поздовжньо-шліфувальний верстат; 2 - поворотна головка; 3 - зміцнювальний інструмент-диск; 4 - напрямна станини.

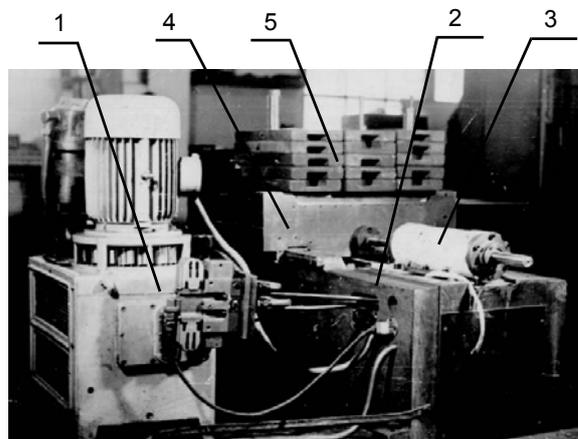


Рис. 2. Стенд для дослідження напрямних фрезерних верстатів: 1 – гідростанція; 2 – досліджувана станина; 3 – гідро циліндр переміщення стола верстата; 4 – стіл верстата; 5 – вантаж, який імітує навантаження стола верстата.

Для вимірювання величини зношування на кожній напрямній по довжині станини та стола свердлили по 4 отвори діаметром 7 мм, в які запресовували сталеві кульки з таким розрахунком, щоб вони знаходились на віддалі 0,08-0,1 мм від поверхні (рис. 3). Ці кульки були базою точкою від якої відраховували величину зношування напрямних станини та стола. Для заміру величини зношування застосовували мікронний індикатор з точністю $\pm 1,0$ мкм, закріплений на сталевій плиті розміром $20 \times 80 \times 80$ мм, основу якої було доведено до $R_a = 0,03-0,05$ мкм. Ніжку індикатора встановлювали в отвір плити і кріпили гвинтом. При вимірюванні з допомогою такої плити усувається похибка на хвилястість, так як вона займає значно більшу поверхню. Перед вимірюванням плиту з індикатором ставили на скло і виставляли індикатор у нульове положення. Перші заміри проводили до зношування, далі два - через 50 год. роботи, наступні - через 100 год., а потім усі решта - через кожні 200 год. Тривалість випробування однієї станини складала 1000 год.

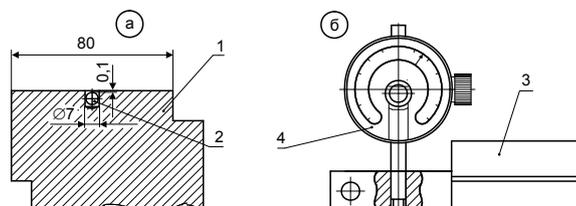


Рис. 3. Схема встановлення кульок у напрямних (а) та пристрій для заміру величини зношування напрямних станин (б): 1 - напрямна станини; 2 - кулька; 3 - плита; 4 - мікронний індикатор.

Так як лабораторні дослідження показали, що при зміцненні обох деталей пари тертя отримується негативний ефект, то для проведення стендових випробувань використовували фрикційно зміцнені напрямні станини та незміцнені напрямні стола верстата. Зміцнювати напрямні стола є трохи важче, ніж станини, тому було вирішено зміцнювати останні. Виходячи з вище сказаного, для проведення стендових випробувань використовували зміцнені напрямні станини та незміцнені напрямні стола верстата.

Проведені стендові випробування підтвердили достовірність результатів, отриманих при лабораторних випробуваннях, тобто фрикційне зміцнення є ефективним технологічним методом підвищення зносостійкості напрямних базових деталей металорізальних верстатів. Так, величина зношування напрямних станин фрезерних верстатів моделі 6520-Ф3 після фрикційного зміцнення зменшилася у 2,5-3 рази у порівнянні зі станинами виготовленими за заводською технологією (рис. 4.). Слід відмітити, що величина зношування шліфованих напрямних стола, що працювали у парі зі зміцненими напрямними станини, зменшилася майже у стільки ж разів.

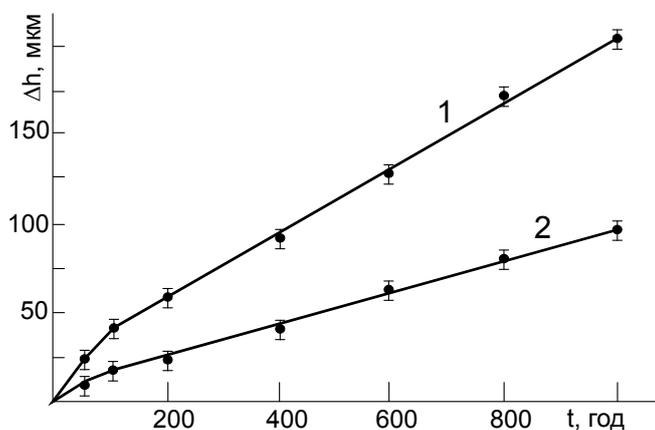


Рис. 4. Кінетика зношування напрямних станин фрезерного верстата при стендових випробуваннях: 1 - станина, виготовлена за заводською технологією; 2 - станина зі зміцненими напрямними

Таким чином, для підвищення зносостійкості базових деталей металорізальних верстатів достатньо зміцнювати лише одну з деталей пари тертя, більш технологічну (станину), інша (стіл) повинна бути тільки шліфована. При зміцненні обох деталей пари тертя ефект зміцнення нівелюється, а у деяких випадках можуть бути отримані негативні результати.

Література

1. Пекелис Г.Д., Гельберг Б.Т. Технология ремонта металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1984. – 240 с.
2. Коробов Ю.М., Прейс Г.А. Электромеханический износ при трении и резании металлов. – К.: Техника, 1976.- 199 с.

УДК 621.923

СТАБИЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА БЕСЦЕНТРОВОГО НАРУЖНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНОГО АБРАЗИВНОГО КРУГА ПЕРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Свищёв В.И., докт. техн. наук, проф., Флегентов В.К., Подборнов И.В.

(г. Пермь, Россия)

The capability of effective stabilization of forces of cutting and temperatures is reviewed at passing parts in a work-piece range on operation of without center outside grinding, by usage of a modular abrasive tool of the variable characteristic. The characteristics of the multilayer tool ensuring achievement of an object in view are selected.

Пермское ОАО «Инкар» для прецизионного бесцентрового наружного шлифования деталей автомобильных гидротолкателей использует высокопроизводительный бесцентровый шлифовальный станок-автомат с ЧПУ немецкой фирмы MODLER модели MC 131/110-Wz-1. В комплект шлифовального станка входят сборные шлифовальные круги различной характеристики высотой до 350 мм, поставляемые фирмами EFESIS и ATLANTIK. Экономические расчеты показали, что приобретение новых импортных шлифовальных кругов после предельного износа кругов, входящих в комплект станка, нецелесообразно из-за их высокой стоимости и больших затрат на доставку. В связи с этим возникла проблема замены импортного шлифовального круга на более дешевый отечественный.

Объектом шлифования на этом станке является корпус компенсатора гидротолкателя, к точности размера и формы, шероховатости ($\text{Ø}14-0,006$, $\text{fO}/[0,002]$, Ra 0,32) наружной цилиндрической поверхности которого предъявляются высокие требования. При выполнении операции с наружной поверхности детали снимается припуск $2Z = 0,063 \pm 0,013$ мм. Деталь изготавливается из стали 12ХН3А, нитроцементируется кругом на глубину 0,20–0,45 мм и термообрабатывается до HRC₂ ≥ 56 с последующей обработкой холодом при температуре минус (60–70) °С в течение двух часов. Деталь является тонкостенной (толщина стенки $\approx 1,5$ мм при наружном диаметре 14 мм), и поэтому неправильный выбор параметров режима шлифования и характеристики абразивного инструмента может привести к превышению критических температур (теплостойкость стали 12ХН3А 150–200 °С) в зоне резания, возникновению прижогов и больших остаточных внутренних напряжений по контуру детали, что может стать причиной не обеспечения требуемой точности размера и формы наружного диаметра.

На наш взгляд, эффективная бездефектная обработка этих деталей может быть обеспечена за счет временной стабилизации некоторых предельных значений функциональных характеристик (сил резания и температур) процесса шлифования при прохождении деталей в зоне обработки. Для решения поставленной задачи при известных параметрах режима шлифования на станке фирмы MODLER необходимо сформировать конструкцию многослойного сборного абразивного инструмента с переменной характеристикой в осевом сечении и подобрать характеристики каждого слоя.

Тангенциальная составляющая силы резания P_z при бесцентровом наружном шлифовании определяется из выражения [1]

$$P_z = \frac{\left(0,185 U d_a^{-(n+0,5)} \frac{K_\epsilon}{K_\delta} \psi\right)^{\frac{1}{1+V}} S t^{\frac{n+0,25V+1,5}{1+V}} V_\delta^{\frac{1+0,5V}{1+V}} V_\kappa^{\frac{-1,5V}{1+V}} \cdot [(V_\kappa + V_\delta)^2 + (V_{np})^2]^{\frac{0,25V-0,5}{1+V}}}{\left(2 \sqrt{\frac{a}{\pi}} \frac{1}{\lambda} \cdot 4 \sqrt{\frac{d+D}{dD}}\right)^{\frac{1}{1+V}}}, \quad (1)$$

где U , V – константы степенной зависимости микротвердости шлифуемого материала от температуры в зоне шлифования; $n = 1,0 \dots 2,5$ (для электрокорундовых кругов на керамической связке $n = 1,5$, на бакелитовой связке $n = 1$, на вулканитовой $n = 2$ [2]); K_ϵ – коэффициент формы вершины зерна; K_δ – коэффициент, зависящий от объемного строения стандартного абразивного инструмента и условий правки его рабочей поверхности; d_a – характерный размер абразивного зерна инструмента [2]; λ , a – коэффициенты тепло- и температуропроводности материала детали; D – диаметр шлифовального круга; d – диаметр детали; S , V_δ , V_{np} , V_κ , t – параметры режима шлифования;

$$\psi(1,5; \eta; \gamma) \approx \frac{6 \cos(\eta + \gamma)(1 + \sin \gamma)}{\cos \gamma [3 \cos(\eta + \gamma) - 2 \sin \eta]} \quad [1],$$

η – угол трения скольжения; γ – передний угол единичного резца.

Средняя контактная температура θ при бесцентровом наружном шлифовании от полосового источника тепла определяется следующим образом [3]:

$$\theta = \frac{8qa}{3\sqrt{\pi} \lambda V_\delta} \sqrt{H}, \quad (2)$$

где q – плотность теплового потока, поступающего в деталь; H – безразмерная полуширина источника тепла.

Параметры q и H , входящие в (2), определяются по следующим выражениям:

$$q = \frac{P_z V_k}{2S h} \beta, \quad H = \frac{V_d h}{2a},$$

где h – полуширина источника тепла,

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{dD}{d+D} t \left[\left(1 + \frac{V_d}{V_k}\right)^2 + \left(\frac{V_{np}}{V_k}\right)^2 \right]} \quad [4], \quad \beta = \frac{1}{1+t \sqrt{\frac{2V_d}{\pi a h}}}. \quad (3).$$

Анализ выражений (1) и (2) показывает, что при известных параметрах режима шлифования (S , V_d , V_{np} , V_k , t), геометрических параметрах круга (D) и детали (d), теплофизических (λ , a) и физико-механических (U , V) свойствах обрабатываемого материала стабилизация силы P_z , а соответственно и температуры в зоне обработки, может быть обеспечена подбором характеристики абразивного инструмента (материал абразивного зерна, d_a , γ , K_B , K_δ , n) на различных участках рабочей поверхности круга при прохождении деталей в зоне обработки. Подбор характеристик абразивного инструмента представлял собой решение задачи выбора и выполнялся расчетом значений P_z по формуле (1) на ЭВМ. При выполнении расчетов учитывались рекомендации монографической и справочной литературы по абразивной обработке материалов шлифованием для назначения характеристик инструмента на стадиях черновой, чистовой и отделочной обработки.

Исходными данными для выбора характеристик абразивного инструмента на рассматриваемой операции будут являться:

– по шлифовальному станку МС 131/110–Wz-1: $V_d = 2,4$ м/с, $V_{np} = 0,052$ м/с, $V_k = 26$ м/с; глубина шлифования t по участкам рабочей поверхности шлифовального круга: $t_1 = 5 \cdot 10^{-6}$ м, $t_2 = 4,5 \cdot 10^{-6}$ м, $t_3 = t_4 = 5 \cdot 10^{-7}$ м, $t_5 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м; количество деталей N по участкам рабочей поверхности круга: $N_1 = 1$, $N_2 = 0,5$, $N_3 = 3$, $N_4 = 4$, $N_5 = 2$;

– по абразивному инструменту: $D = 0,508$ м, $K_B = 2$, $K_{np} = 0,18$ [2], $\gamma = 0,96$ рад [5];

– по обрабатываемой детали: $d = 14,04 \cdot 10^{-3}$ м, $S = 13,9 \cdot 10^{-3}$ м, $U = 450 \cdot 10^{10}$ Н·°С/м², $V = 1,125$, $\lambda = 25$ Вт/(м·°С), $a = 6 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\text{tg } \eta = 0,2$.

Остальные параметры (d_a , K_δ , n), входящие в формулу (1), являются переменными и в совокупности определяют характеристику абразивного инструмента на соответствующем участке рабочей поверхности круга.

В таблице даны результаты расчетов сил резания и температур с выбором характеристики абразивного инструмента по участкам рабочей поверхности круга.

Расчетные значения сил и температур при прохождении
деталей в зоне обработки

Номер участка	Расчетные значения P_z и θ при шлифовании			Характеристики абразивного инструмента при шлифовании	
	одной детали		в общ. потоке P_z , Н	одной детали	в общем потоке
	P_z , Н	θ , °С			
1	47,9	207,9	47,9	14А16НСТ24Б	14А16НСТ24Б
2	23,9	107,9	23,9	14А16НСТ24Б	14А16НСТ24Б
3	11,3	101,6	21,9	14АМ28ПТ23Б или 14АМ20ПС24Б	14АМ40ПТ14Б
4	11,3	101,6	21,9	24АМ16ВМ14Б	24АМ16ВСМ24К5
5	11,3	73,9	21,9	24АМ16ВВМ26В или 24АМ16ВВМ28В	24АМ16ВВМ26В или 24АМ16ВВМ28В

Анализ показывает, что подобранные характеристики многослойного абразивного инструмента при прохождении деталей в зоне шлифования в общем потоке, начиная со второго участка рабочей поверхности круга и далее, обеспечивают стабильность силовых и температурных характеристик процесса шлифования. Максимальное значение средней контактной температуры не превышает предела теплостойкости стали 12ХН3А, а, следовательно, сохраняется неизменным физико-механическое состояние поверхностного слоя шлифуемых деталей и обеспечивается бездефектная обработка при временной стабильности процесса шлифования.

Результаты исследования позволили рекомендовать применение на операции бесцентрового наружного шлифования корпуса компенсатора отечественного сборного шлифовального круга переменной характеристики.

Литература

1. Свирщев В.И., Флегентов В.К., Подборнов И.В. Аналитическое описание и расчет сил резания при бесцентровом наружном шлифовании. / Вестник ПГТУ: Механика и технология материалов и конструкций, 2002, №5, с. 180-187.
2. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1981. 144 с.
3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 164 с.
4. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1978. 128 с.
5. Ящерицин П.И., Зайцев А.Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. Минск: Наука, 1972. 563 с.

УДК 621.923.4

ТЕПЛОАПРЯЖЕННОСТЬ ЗАТОЧКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫМИ ШЛИФОВАЛЬНЫМИ КРУГАМИ

Худобин Л.В., докт. техн. наук, проф., Веткасов Н.И., канд. техн. наук, доц., Щепочкин В.А.
(г. Ульяновск, Россия)

The thermal model of sharpening operations of cutters by compounded abrasive wheels of a cup type is described in this article. This thermal model allows to evaluate a temperature field in a sharpened cutting instrument at any moment of time

Повысить эффективность операции заточки режущих инструментов (РИ) можно путем замены стандартных кругов (СК) композиционными шлифовальными кругами (КШК) такого же типоразмера и характеристики. Исследования технологической эффективности шлифования чашечными КШК 11–125×45×32 95A25ПСМ16К6 и 25A25ПСМ16К20 с радиальными прорезями, заполненными твердым смазочным материалом (ТСМ), в качестве которого использовали композицию графита (наполнитель) и пульвербакелита (связующее), показали, что при замене СК композиционным улучшается качество заточенного РИ (уменьшаются высотные параметры шероховатости обработанной поверхности, практически не изменяется микротвердость поверхностного слоя), уменьшаются составляющие силы шлифования P_z и P_y , и, как следствие, – уменьшается средняя контактная температура T_k , увеличивается период стойкости круга.

Математическая формулировка задачи теплопроводности для затачиваемого торцом круга вдоль режущей кромки РИ в цилиндрических координатах имеет следующий вид:

$$\frac{\partial T_3}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left(a_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial a_3}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(a_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(a_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где T_3 – текущее значение температуры заготовки, К; $a_3 = \lambda_3 / (c_3 \cdot \rho_3)$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; λ_3 – значение теплопроводности материала заготовки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; c_3 – удельная теплоемкость материала заготовки, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ_3 – плотность материала заготовки, $\text{кг}/\text{м}^3$; r – текущий радиус рассматриваемой точки в цилиндрической системе координат, м (рис. 1); φ – текущий координатный угол, рад.; z – текущая координата точки по оси z , м.

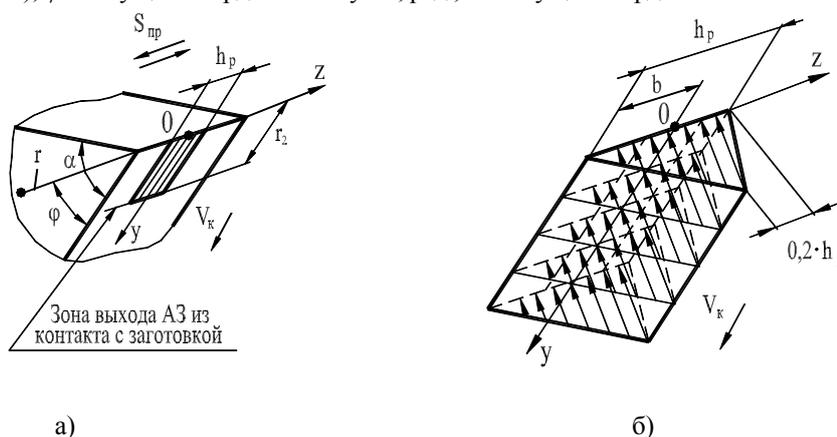


Рис. 1. Схема действия (а) и форма теплового источника (б): α – угол клина, град.; h_p – ширина теплового источника, м.

Для получения единственно правильного решения математической модели (1) ее необходимо дополнить начальным (в начальный момент времени ($\tau = 0$)) и граничными условиями.

Начальное условие

$$\tau = 0; \quad T_3(r, z, \varphi, \tau) = T_{oc}, \quad (2)$$

где T_{oc} – температура окружающей среды, К.

Граничные условия

а) В пределах действия теплового источника (рабочей поверхности СК и режущих выступов КШК):

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \lambda_z}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} = q(r, z) \quad (3)$$

при $\varphi = 0$, $0 < r < r_2$, $|z| < b$, $z = (S_{np} \cdot \tau_i) / 60$,

где $q(r, z)$ – суммарная плотность потока теплового источника, Вт/м²; r_2 – координата выхода абразивных зерен (АЗ) из контакта с заготовкой, м (см. рис. 1); $b = h_p / 2$ – полуширина теплового источника, в середине которого находится начало координат, м; S_{np} – скорость продольной подачи, м/мин; τ_i – i -ый момент времени, с.

Плотность теплового потока, поступающего в заготовку, рассчитывали по формуле:

$$q_3 = \frac{\alpha_3 \cdot P_z \cdot V_k}{S_k}, \quad (4)$$

где P_z – касательная составляющая силы шлифования, Н; V_k – окружная скорость круга, м/с; S_k – площадь контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью, м²; α_3 – коэффициент, определяющий долю теплоты, поступающей в заготовку:

$$\alpha_3 = \frac{1}{1 + 1,125 \cdot \frac{\lambda_k}{\lambda_3} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot a_3}{V_k \cdot d_3}}}, \quad (5)$$

где d_3 – диаметр пятна контакта АЗ с заготовкой, м; λ_k – теплопроводность абразивного зерна шлифовального круга, Вт/(м · К).

б) Вне пределов действия теплового источника

$$-\frac{\partial \lambda_3}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{\partial \alpha_{pac}}{\partial r} \cdot (T_3 - T_{oc}) \quad (6)$$

при $\varphi = 0$, $|z| > b$, $r > r_2$, $z = (S_{np} \cdot \tau_i) / 60$,

где $\alpha_{pac} = \max(\alpha_{вв}, \alpha_{св})$; $\alpha_{вв}$, $\alpha_{св}$ – коэффициент теплопередачи в условиях соответственно вынужденного и свободного движения воздуха, Вт/(м² · К).

в) На необрабатываемых поверхностях РИ:

$$-\frac{\partial \lambda_3}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{\partial \alpha_{св}}{\partial r} \cdot (T_3 - T_{oc}), \quad (7)$$

при $\varphi = \alpha$, $z > 0$, $r > 0$.

Материал заготовки считали сплошной средой с известными теплофизическими свойствами (плотностью, теплопроводностью и удельной теплоемкостью) и известными зависимостями их от температуры.

г) В пределах зоны контакта смазочного элемента (СЭ) с обрабатываемой поверхностью РИ за время $\tau_{сэ} = L_{н}^{cp} / V_k$ ($L_{н}^{cp}$ – длина СЭ, измеренная на среднем радиусе рабочей поверхности круга, м) выполняется условие

$$T_k = \begin{cases} T_{пл}, & \text{при } T_3 \geq T_{пл}; \\ T_{сэ} = T_3, & \text{при } T_3 < T_{пл}; \end{cases} \quad -\frac{\partial \lambda_3}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{\partial \lambda_{сэ}}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi} + Q_{пл}, \quad (8)$$

при $\varphi = 0$, $0 < r < r_2$, $|z| < b$, $z = (S_{np} \cdot \tau_i) / 60$,

где T_k – средняя контактная температура, К; $T_{сэ}$, $T_{пл}$ – температура соответственно СЭ и его плавления, К; $\lambda_{сэ}$ – теплопроводность СЭ, Вт/(м² · К), $Q_{пл}$ – плотность теплового потока, поступающего в СЭ и вызывающего его плавление, Вт/м².

Расчет выполняли с помощью пакета прикладных программ ANSYS 5.5.1, позволяющего находить решение методом конечных элементов, обеспечивающим высокую точность получаемых результатов.

Процедура моделирования включала следующие этапы:

1. Выполняли геометрическое описание объекта, задавали его форму и размеры.
2. Табличным способом задавали теплофизические характеристики материала заготовки (плотность ρ_3 , теплопроводность λ_3 , удельную теплоемкость c_3).
3. Формировали начальные и граничные условия на поверхностях заготовки.
4. Табличным способом формировали массив значений коэффициентов теплопередачи в условиях свободного $\alpha_{св}$ и вынужденного $\alpha_{вв}$ движения воздуха. С этой целью значения этих коэффициентов предварительно рассчитывали в возможном диапазоне изменяющихся температур.
5. Производили расчет средней контактной температуры T_k .

В качестве примера на рис. 2 приведены результаты расчета средней контактной температуры при заточке режущих инструментов из сталей ХВГ и Р6М5. В ходе расчета варьировали коэффициентом ν , представляющим собой отношение суммарной площади СЭ к площади абразивной части рабочей поверхности круга, врезной подачей $S_{вр}$, продольной подачей $S_{пр}$, недобегом L_1 и перебогом L_2 затачиваемого РИ, шириной рабочей поверхности круга h_p .

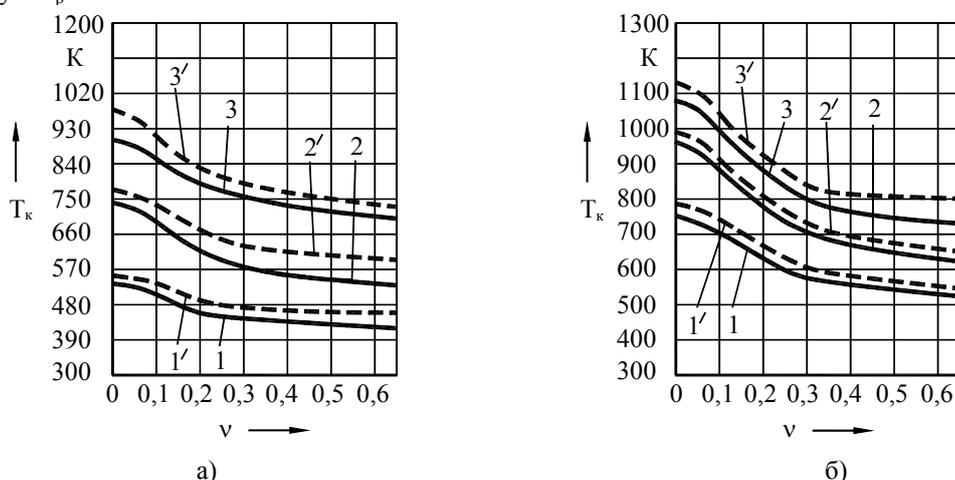


Рис. 2. Зависимость средней контактной температуры T_k от коэффициента ν , врезной подачи $S_{вр}$ и материала шлифуемой заготовки: а, б – материал заготовки соответственно сталь ХВГ и Р6М5; круг 11 – 125×45×32 92А25ПСМ16К6; $S_{пр} = 6$ м/мин; $L_1 = L_2 = 75$ мм; $h_p = 7$ мм; 1, 2, 3 и 1', 2', 3' – соответственно $S_{вр} = 0,01; 0,03; 0,05$ мм/дв.х; 1, 2, 3 и 1', 2', 3' – соответственно расчетные и экспериментальные кривые

Среднюю контактную температуру T_k фиксировали с помощью полусинтетической термопары (рис. 3). ТермоЭДС, возникающая в процессе шлифования между термоэлектродом 3 и заготовкой 2 (4), в виде электрического сигнала поступает на один из каналов аналого – цифрового преобразователя, а далее на ПЭВМ. Сигнал записывался в оперативную память и далее обрабатывался по специальной программе TERMO.EXE.

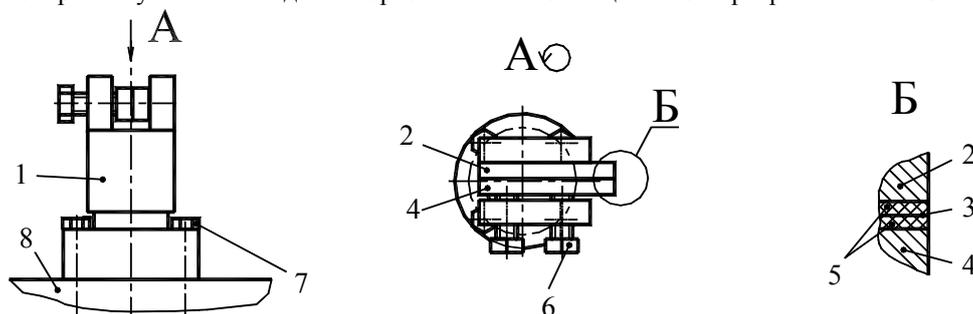


Рис. 3. Схема закладки термоэлектрода в заготовку при шлифовании торцом круга: 1 – специальное приспособление для крепления заготовок; 2, 4 – разрезная заготовка; 3 – термоэлектрод; 5 – слюда толщиной 0,1 мм; 6 – болт М8×30; 7 – болт М6×35; 8 – плита

Сравнение расчетных и экспериментальных значений температуры T_k показало, что решение поставленной задачи посредством численного моделирования дает достаточно точные результаты. Так, например, экспериментальное значение максимальной температуры при заточке СК равно 1022 К, а расчетное – 1098 К, при обработке КШК соответственно 723 и 793 К (относительная погрешность в первом случае составляет 7 %, во втором – 10 %).

УДК 621.923.4

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАТОЧКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАШЕЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Худобин Л.В., докт. техн. наук, проф., Веткасов Н.И., канд. техн. наук, доц., Щепочкин В.А.
(г. Ульяновск, Россия)

The outcomes of an experimental research of sharpening operations of cutters by compounded abrasive wheels of a cup type are considered in this article

Как правило, на производстве предварительную и окончательную заточку режущих инструментов (РИ) чашечными шлифовальными кругами проводят со скоростью продольной подачи $S_{пр} = (5 - 8)$ м/мин, а врезную подачу принимают равной $(0,01 - 0,02)$ мм/дв.х. При съеме припусков порядка $(0,4 - 1,2)$ мм штучно-калькуляционное время операции заточки инструментов с несколькими обрабатываемыми поверхностями (рез-

цы, фрезы, протяжки) достигает значительных величин.

Результаты лабораторных испытаний, проведенных в лаборатории абразивной обработки Ульяновского государственного технического университета, свидетельствуют о возможности увеличения врезной подачи в 1,5–2,0 раза на операциях заточки РИ в случае замены стандартных кругов (СК) композиционными шлифовальными кругами (КШК) (рис. 1), представляющими собой прерывистые шлифовальные круги (ПШК), конструктивные элементы которых заполнены твердым смазочным материалом на основе композиции графита (наполнитель) и пульвербакелита (связующее).

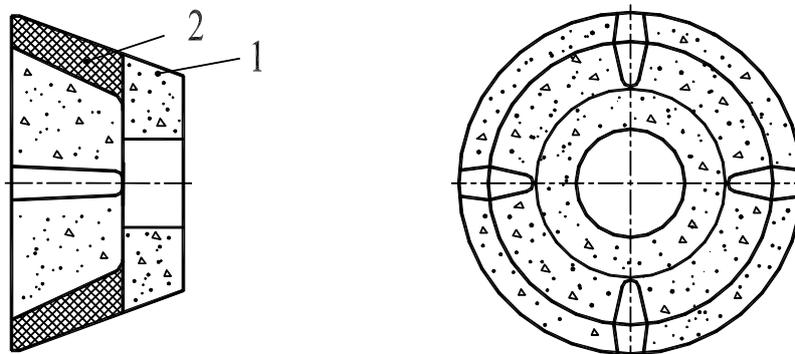


Рис. 1. КШК чашечный конический (тип 11): 1 – ПШК; 2 – твердый смазочный материал.

Оценку эффективности чашечных КШК на керамической связке на операции заточки проводили на экспериментальной установке, созданной на базе плоскошлифовального станка мод. 3Д710В-1. Образцы из сталей Р6М5, HRC 63...65 и ХВГ, HRC 54...56 шлифовали КШК 11 – 125×45×32 25А25ПСМ16К20 с окружной скоростью круга 18 м/с. Снимали припуск 0,4 мм. Варьировали продольной подачей $S_{пр}$ в диапазоне от 2 до 10 м/мин и врезной подачей $S_{вр}$ – от 0,01 до 0,05 мм/дв.х. Шлифование выполняли без применения смазочно-охлаждающей жидкости. За базу для сравнения приняли результаты шлифования СК и ПШК.

Как и следовало ожидать, наибольшие значения средней контактной температуры зафиксированы при шлифовании СК. Например, при шлифовании СК на врезной подаче $S_{вр} = 0,05$ мм/дв.х заготовок из стали ХВГ (рис. 2, а) средняя контактная температура T_k была на 120 и 280 К выше, чем при шлифовании соответственно прерывистыми и композиционными кругами; при шлифовании заготовок из стали Р6М5 (рис. 2, б) – на 160 и 314 К.

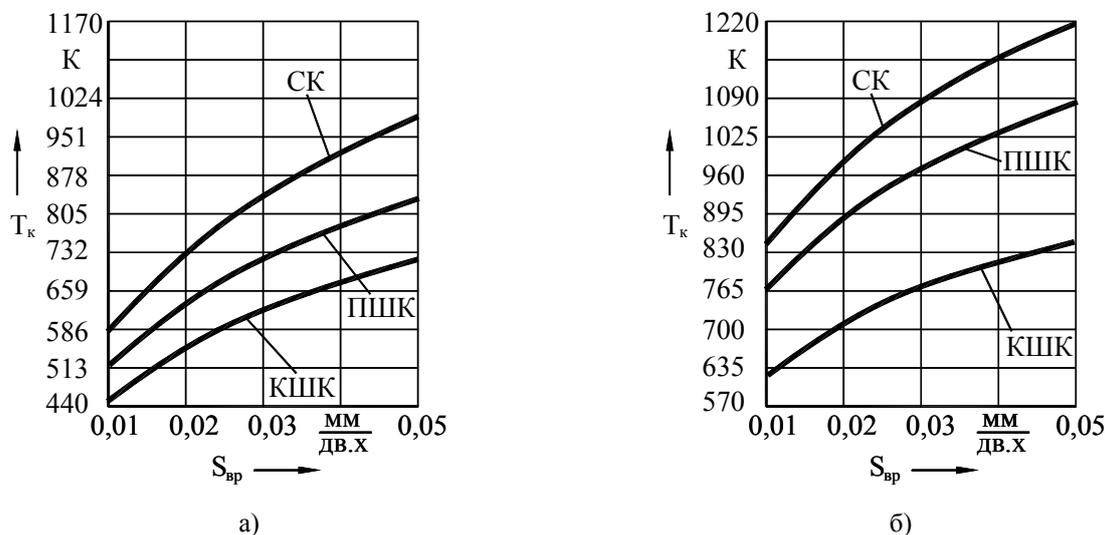


Рис. 2. Зависимость средней контактной температуры T_k от врезной подачи $S_{вр}$ и материала заготовки при шлифовании СК, ПШК и КШК: а, б – материал заготовки соответственно сталь ХВГ и Р6М5; круг – 11 – 125×45×32 25А25ПСМ16К20; $V_k = 18$ м/с; $S_{пр} = 7$ м/мин.

Композиционные круги по сравнению с СК отличаются большей стойкостью наработкой τ_q (рис. 3).

С увеличением врезной подачи при шлифовании стандартными, прерывистыми и композиционными кругами значения коэффициента шлифования по объему $K_{ш}$ (рис. 4) уменьшаются, что связано с уменьшением периода стойкости кругов. Например, при шлифовании заготовок из стали Р6М5 увеличение врезной подачи с 0,01 до 0,03 мм/дв.х привело к снижению $K_{ш}$ при шлифовании всеми кругами в 3,3 – 2,7 раза. Однако, при этом значения $K_{ш}$ при шлифовании КШК до 8 раз превышают его значения по сравнению с шлифованием заготовок из инструментальных сталей стандартными кругами. Таким образом, композиционные круги позволяют снимать заданный припуск с обрабатываемой заготовки при гораздо меньших затратах полезного объема круга.

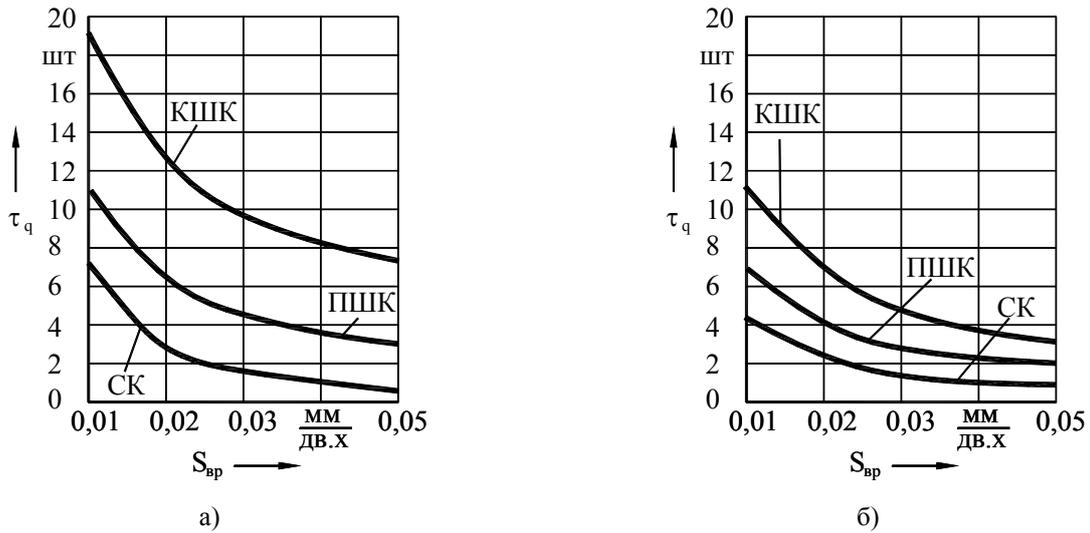


Рис. 3. Зависимость стойкостной наработки круга τ_q от врезной подачи S_{vp} и материала заготовки при шлифовании СК, ПШК и КШК: условия см. в надписи к рис. 2.

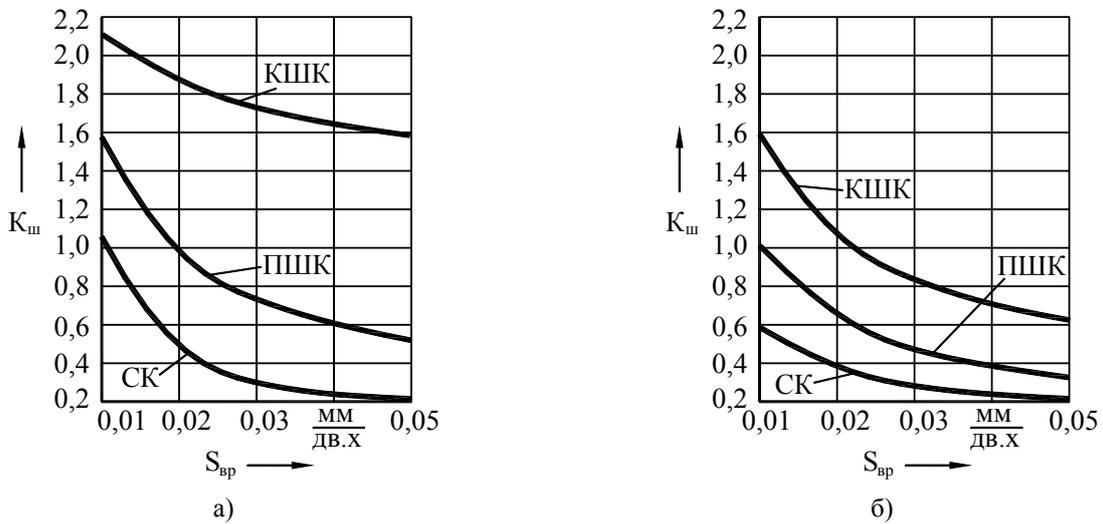


Рис. 4. Зависимость коэффициента шлифования по объему с учетом припуска на правку $K_{ш}$ от врезной подачи S_{vp} и материала заготовки: условия см. в надписи к рис. 2.

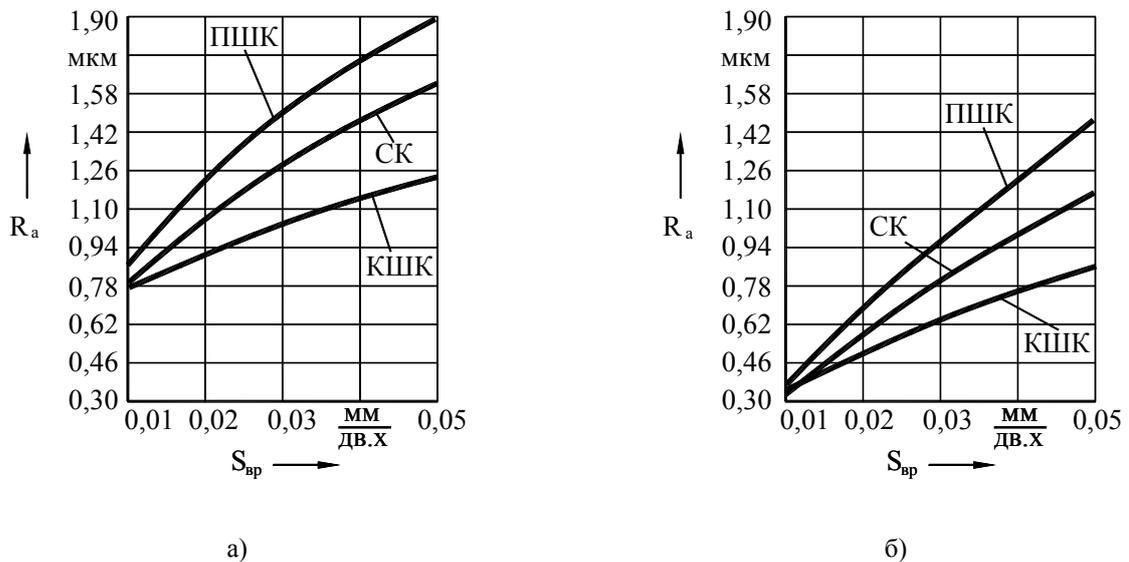


Рис. 5. Зависимость среднего арифметического отклонения профиля шлифованной поверхности R_a после выхаживания (3 дв.х без врезной подачи) от врезной подачи S_{vp} и материала заготовки при шлифовании СК, ПШК и КШК: условия см. в надписи к рис. 2

Наряду с этим, применение КШК на операции шлифования заготовок из стали ХВГ позволяет уменьшить параметр R_a по отношению к обработке ПШК и СК (рис. 5). При шлифовании заготовок с выхаживанием (3 дв.х без врезной подачи) абсолютные значения R_a при шлифовании КШК были меньше значений этого параметра, зафиксированных при обработке заготовок стандартными и прерывистыми кругами, что связано с реализацией твердым смазочным материалом эффективного смазочного действия в зоне контакта КШК и обрабатываемой заготовки, приводящего к уменьшению интенсивности контактных взаимодействий и более длительному сохранению кругом режущей способности.

Результаты лабораторных исследований технологической эффективности КШК подтверждены данными их опытно-промышленных испытаний на операциях заточки резцов из стали Р6М5 и с пластинами из твердого сплава ВК8 в условиях действующего производства Ульяновского автомобильного завода, на операциях заточки концевых фрез из стали Р6М5 в ООО "Сервис-Газ" (г. Ульяновск) и на операциях заточки призматических резцов из стали Р18 в производстве Димитровградского инструментального завода, свидетельствующими о повышении производительности заточки этих инструментов в 1,5 – 3,0 раза при обеспечении нормированного качества РИ.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАЛИПА МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ И АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА

Худобин Л.В., докт. техн. наук, проф., Унянин А.Н., канд. техн. наук, доц.

(г. Ульяновск, Россия)

The mathematical dependences for calculation of forces which are capable to destroy linking of workpiece material with a surface of an abrasive grain of a wheel are obtained that has allowed to pick effective methods of removal linkages from this surface

Засаливание шлифовального круга (ШК) является одной из основных причин потери им режущей способности и связано, в первую очередь, с налипанием частиц материала заготовки на абразивные зёрна (а.з). Поскольку при шлифовании заготовок из адгезионно – активных материалов не всегда удаётся создать условия, полностью исключающие налипание материала заготовки на а.з., можно использовать различные методы воздействия на рабочую поверхность ШК с целью удаления с этой поверхности отходов шлифования. Для выбора рациональных методов воздействия необходимо знать силы взаимодействия отходов шлифования с поверхностью ШК.

Исходя из принятой формы микровпадины на а.з в виде конуса [1] и расчётов, свидетельствующих, что глубина внедрения материала заготовки во впадины на а.з. может быть меньше высоты этих впадин, представим налип в виде усечённого конуса. Рассмотрение свойств налипов, имеющих как и микронеровности на а.з размеры порядка долей микрометра [1], следует вести на субмикроскопическом уровне [2]. Для объектов такого рода справедлив, в частности, закон Гука.

После среза мостика схватывания прекращает действовать и внешнее давление, вызвавшее деформацию материала налипа, а остаточные деформации в объёме последнего порождают силы, действующие со стороны налипа на поверхность субмикрорельефа а.з. Если все силы условно приложить в одной точке (рис. 1), то силу, действующую со стороны налипа на поверхность впадины на а.з, можно рассчитать по формуле:

$$W_H = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (d_1 + d_2) \cdot \ell_k \cdot \cos \frac{\alpha_g}{2} \cdot \sigma_n,$$

где d_1 и d_2 – диаметры усечённого конуса, в виде которого представлен налип во впадине, м; ℓ_k – размер налипа, м (см. рис. 1); α_g – угол при вершине микровпадины, град.; σ_n – наибольшие напряжения в материале налипа, до которых справедлив закон Гука, Па.

Выявим условия, при которых налип может удержаться во впадине за счёт механических сил. На элементарный объём налипа, расположенный на поверхности впадины зерна, действуют следующие силы: сила упругости W_H со стороны объёма налипа; нормальная реакция поверхности зерна N_{H1} и их равнодействующая F_{H1} , направленная вдоль поверхности контакта налипа с зерном (рис. 2). Частица находится в равновесии, когда равнодействующая сил W_H и N_{H1} меньше силы трения F_{TP} , т. е. $F_{H1} < F_{TP}$. Так как

$$F_{H1} = N_{H1} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_g}{2}; \quad F_{TP} = N_{H1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_H,$$

где φ_H – угол трения налипа по поверхности микровпадины, то условие примет вид $\alpha_g / 2 \leq \varphi_H$.

Коэффициент трения электрокорунда по стали $\mu_0 = 0,3$. Следовательно, налип способен удержаться во впадине за счёт механических сил, если $\alpha_g \leq 32$ град. Для большинства микровпадин этот угол больше 32 град. [1], поэтому количество налипов, удерживаемых за счёт механических сил, невелико.

Когда локальная температура в окрестности налипа выше её порогового значения, при котором возможно адгезионное взаимодействие и соединение поверхностей налипа и а.з, прочность соединения близка к прочности материала заготовки [3].

Если на налип действует внешняя сила P_g (например, центробежная, или развиваемая при реализации того или иного метода очистки круга) (см. рис. 2), то соединение разрушится и налип будет удалён при выполнении

$$P_g \geq \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d_2^2) \cdot (\sigma_{PT} - \sigma_{HT})}{4 \cdot \cos^2(90^\circ - \alpha_g / 2)}, \quad (2)$$

где σ_{PT} – допускаемые напряжения растяжения материала налива при температуре T , Па.

Сила P_g способна удалить налип из впадины микрорельефа, если выполняется хотя бы одно из условий (1) или (2).

Для большинства сочетаний материалов абразивных зёрен и заготовок $\alpha_{a.z} < \alpha_H$ и в процессе остывания, как показало моделирование с использованием вышеприведённых зависимостей, налип испытывает деформацию растяжения. Это условие не выполняется при обработке электрокорундовыми кругами для ограниченного числа материалов, в частности, для твёрдых сплавов.

Получено условие удаления налива, удерживаемого во впадине микропрофиля лишь за счёт механических сил:

$$P_g \geq \pi \cdot E_T \cdot \ell_K \cdot \Delta \ell_T \cdot \cos \frac{\alpha_g}{2} \cdot \left(\operatorname{tg} \varphi_H - \operatorname{tg} \frac{\alpha_g}{2} \right). \quad (3)$$

Если налип удерживается за счёт механических сил, то при его остывании до определённой температуры остаточная деформация может снизиться до значения, при котором налип не удержится в микровпадине.

Для проведения сравнительной оценки различных воздействий на рабочую поверхность ШК, осуществляемых с целью удаления с неё отходов шлифования, определены силы, действующие на налип металла при различных методах воздействия. При этом приняты во внимание и центробежные силы, стремящиеся оторвать налип от вращающегося ШК. Установлено, что для удаления налипов с а.з целесообразно использовать гидроочистку рабочей поверхности ШК с наложением ультразвуковых колебаний (УЗК) [4]. Однако ни один из рассмотренных методов воздействия, в том числе гидроочистка с УЗК, не обеспечивают удаления налива, имеющего межатомные связи с поверхностью микрорельефа по всей поверхности их контакта. Эффективным средством удаления налипов является их механическое диспергирование абразивными брусками, зёрна которых способны удалить налип, имеющие наиболее прочное сцепление с поверхностью зёрен круга [5].

Литература

1. Худобин Л.В., Полянсков Ю.В. О механизме формирования и разрушения узлов схватывания металла с абразивными зёрнами при шлифовании // Физико-химическая механика материалов. 1973. Т. 9. № 3. С. 70 – 75.
2. Введение в микромеханику / Онами М., Ивасимидзу С., Гэнка К и др. Под ред. Онами М.: Пер. с япон. Под ред. Гуна Г.Я. М.: Металлургия, 1987, 280 с.
3. Мусин Р.А., Конюшов Г.В. Соединение металлов с керамическими материалами. М.: Машиностроение, 1991. 224 с.
4. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Эльборовое шлифование заготовок из труднообрабатываемых материалов с ультразвуковой гидроочисткой круга // Вестник инженерной академии наук Украины. Киев. 2001. № 3. С. 196 – 198.
5. Унянин А.Н. Шлифование с очисткой рабочей поверхности круга абразивным бруском // Труды 6-ой международной НТК "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". Харьков: ХНПК "ФЭД", 2002. С. 93 – 95.

УДК 621.315.592

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРЕЗАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ АЛМАЗНЫМИ ОТРЕЗНЫМИ КРУГАМИ С ВНУТРЕННЕЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

Крупенников О.Г., канд. техн. наук, доц., Дормушев А.Е.

(г. Ульяновск, Россия)

In a paper the mathematical sample piece of thermal intensity of process of slitting of preforms by diamond cutter wheels with an internal cutting edge.

Авторами предварительно было установлено, что снижение температуры в зоне резания за счет рационального использования смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) позволяет значительно повысить производительность операции резания и качество отрезанных пластин. Для теоретико-экспериментального исследования сравнительной эффективности различных СОТС авторы разработали математическую модель тепловой напряженности процесса резания заготовок из неметаллических материалов отрезными кругами с внутренней режущей кромкой (АКВР) на пластины. Модель представляет собой систему уравнений теплопроводности объектов системы «корпус алмазного отрезного круга – режущая кромка – заготовка» записанных в цилиндрической системе координат $\{r_k, \varphi_k, x_k\}$, связанной с соответствующим объектом, которые имеют следующий вид:

$$\rho_{pk}^{эф} \cdot c_{pk}^{эф} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r_{pk}} \left(\lambda_{pk}^{эф} \cdot \frac{\partial T}{\partial r_{pk}} \right) + \frac{\lambda_{pk}^{эф}}{r_{pk}} \cdot \frac{\partial T}{\partial r_{pk}} + \frac{1}{r_{pk}^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi_{pk}} \left(\lambda_{pk}^{эф} \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi_{pk}} \right) + \frac{\partial}{\partial x_{pk}} \left(\lambda_{pk}^{эф} \cdot \frac{\partial T}{\partial x_{pk}} \right), \quad (1)$$

$$\rho_k \cdot c_k \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r_k} \left(\lambda_k \cdot \frac{\partial T}{\partial r_k} \right) + \frac{\lambda_k}{r_k} \cdot \frac{\partial T}{\partial r_k} + \frac{1}{r_k^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi_k} \left(\lambda_k \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi_k} \right), \quad (2)$$

$$\rho_3 \cdot c_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r_3} \left(\lambda_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial r_3} \right) + \frac{\lambda_3}{r_3} \cdot \frac{\partial T}{\partial r_3} + \frac{1}{r_3^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi_3} \left(\lambda_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial x_3} \right), \quad (3)$$

где $\lambda_{pk}^{\text{эф}}$ = $[(1 - P) \cdot \lambda_{pk} + P \cdot \lambda_n]$ – эффективная теплопроводность режущей кромки круга, Вт/(м·К); $\rho_{pk}^{\text{эф}}$ = $[(1 - P) \cdot \rho_{pk} + P \cdot \rho_n]$ – эффективная плотность режущей кромки круга, кг/м³; $c_{pk}^{\text{эф}}$ = $[(1 - P) \cdot c_{pk} + P \cdot c_n]$ – эффективная удельная теплоёмкость режущей кромки круга, Дж/(кг·К); λ_{pk} – теплопроводность режущей кромки, Вт/(м·К); λ_n – теплопроводность содержимого пор режущей кромки круга (воздуха или СОЖ), Вт/(м·К); ρ_{pk} – плотность режущей кромки круга, кг/м³; ρ_n – плотность содержимого пор режущей кромки круга, кг/м³; c_n – удельная теплоёмкость содержимого пор режущей кромки круга, Дж/(кг·К); c_{pk} – удельная теплоёмкость режущей кромки, Дж/(кг·К); T – расчетная температура, К; P – коэффициент, определяющий относительную объемную долю пор в режущей кромке круга; τ – время, с; c_k – удельная теплоёмкость корпуса круга, Дж/(кг·К); λ_k – теплопроводность круга, Вт/(м·К); ρ_k – плотность круга, кг/м³; c_k – удельная теплоёмкость круга, Дж/(кг·К); c_3 – удельная теплоёмкость материала заготовки, Дж/(кг·К); ρ_3 – плотность материала заготовки, кг/м³, λ_3 – теплопроводность материала заготовки, Вт/(м·К).

Физические условия однозначности, определяющие теплофизические свойства рассматриваемых объектов, записывали в виде:

$$\begin{aligned} \lambda_{pk}^{\text{эф}} &= \lambda_{pk}^{\text{эф}}(T); \rho_{pk}^{\text{эф}} = \rho_{pk}^{\text{эф}}(T); c_{pk}^{\text{эф}} = c_{pk}^{\text{эф}}(T); \\ \lambda_k &= \lambda_k(T); \rho_k = \rho_k(T); c_k = c_k(T); \\ \lambda_3 &= \lambda_3(T); \rho_3 = \rho_3(T); c_3 = c_3(T). \end{aligned} \quad (4)$$

За начальные условия однозначности: принимали температуру заготовки и отрезного круга в начальный момент времени ($\tau = 0$) и считали ее равной температуре окружающей среды:

$$\tau = 0: T = T_f. \quad (5)$$

Граничное условие в зонах контактного взаимодействия ($r = r_{pk}$: $-\varphi_k \leq \varphi \leq \varphi_k$ (рис.1)) отрезного круга с заготовкой задавали в виде

$$\lambda_{pk}^{\text{эф}} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial n_{pk}} \right)_{n_{pk}=0} + \lambda_3 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial n_3} \right)_{n_3=0} + q_{жс} + q_c = q_{\text{выд}}, \quad (6)$$

где n_{pk} , n_3 – нормаль к рабочей поверхности режущей кромки круга и поверхности заготовки соответственно; $q_{жс}$ – поверхностная плотность теплового потока, затрачиваемого на нагрев и парообразование СОЖ в зоне контакта, Вт/м²; q_c – поверхностная плотность теплового потока, уносимого вместе со стружкой, Вт/м²; $q_{\text{выд}}$ – поверхностная плотность теплового потока, выделившегося в зоне контакта, Вт/м².

На свободных поверхностях режущей кромки, корпуса отрезного круга и заготовки задавали граничное условие теплообмена с окружающей средой:

$$-\lambda_{pk}^{\text{эф}} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial n_{pk}} \right)_{r=r_{pk}} = a_{pk} \cdot (T - T_f); -\lambda_k \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial n_k} \right)_{r=r_{pk}} = a_k \cdot (T - T_f); -\lambda_3 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial n_3} \right)_{n_3=0} = a_3 \cdot (T - T_f), \quad (7)$$

где a_{pk} – местный коэффициент теплоотдачи к свободной поверхности режущей кромки отрезного круга, Вт/(м²·К); a_k – местный коэффициент теплоотдачи к свободной поверхности отрезного круга, Вт/(м²·К); a_3 – коэффициент теплоотдачи к поверхности заготовки, Вт/(м²·К); T_f – температура потока охладителя, К.

Геометрические условия однозначности определяли, задавая размеры взаимодействующих объектов.

Для решения уравнений (1) – (3) применяли разностные методы, при помощи которых приближённое решение получали в некотором конечном множестве расчётных точек, называемом сеткой. Разностные сетки и типоразмеры расчётных элементов зависят от геометрических параметров контактирующих объектов и применительно к разрезанию кругами АКВР имеют следующий вид (рис.2.) Для каждого типа расчётных элементов режущей кромки отрезного круга и заготовки методом баланса получали дискретные аналоги соответствующих дифференциальных уравнений теплопроводности.

Например, дискретный аналог уравнения теплопроводности заготовки для типового расчётного элемента с внутренней расчётной точкой получали из закона сохранения энергии. Согласно этому закону сумма всех входящих и выходящих за время $\Delta \tau$ тепловых потоков равна изменению энтальпии рассматриваемого элемента (конечного объёма)

$$Q_x^{\text{вх}} - Q_x^{\text{вых}} + Q_r^{\text{вх}} - Q_r^{\text{вых}} + Q_\varphi^{\text{вх}} - Q_\varphi^{\text{вых}} = (\rho_3 \cdot c_3)_{i,j,k} \cdot V_{i,j,k}^3 \cdot \frac{\tilde{T}_{i,j,k}^3 - T_{i,j,k}^3}{\Delta \tau}, \quad (8)$$

где $Q_x^{\text{вх}}$, $Q_x^{\text{вых}}$ – тепловой поток, соответственно входящий в элемент (i, j, k) заготовки и выходящий из него в осевом (вдоль оси x_3) направлении, Дж; $Q_r^{\text{вх}}$, $Q_r^{\text{вых}}$ – то же в радиальном (вдоль оси r_3) направлении, Дж; $Q_\varphi^{\text{вх}}$, $Q_\varphi^{\text{вых}}$ – то же в окружном (вдоль оси φ_3) направлении, Дж; $V_{i,j,k}^3$ – объём (i, j, k)-го расчётного элемента за-

УДК 621.9.025.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ АДГЕЗИОННЫХ СЛОЕВ

Табакон В.П., докт. техн. наук, проф., Рандин А.В.

(г. Ульяновск, Россия)

The constructions of wear-resistant films with transition adhesion layers are developed; the results of researches of parameters of structure, mechanical properties of a composition "a film – tool basis" and cutting properties of the tool are given.

Применение износостойких покрытий позволяет существенно повысить работоспособность режущего инструмента (РИ). В настоящее время для повышения работоспособности РИ наиболее широкое применение получило однослойное покрытие нитрида титана TiN толщиной 5 – 6 мкм. Однако различие свойств покрытия и инструментальной основы приводит к образованию высоких остаточных напряжений в покрытии, что снижает прочность сцепления и отражается на работоспособности РИ.

Можно предположить, что снижения величины остаточных напряжений и повышения за счет этого прочности сцепления покрытия и инструментальной основы можно добиться за счет создания между ними переходного адгезионного слоя (ПАС), включающего элементы материалов как покрытия, так и основы.

Для расчета остаточных напряжений в покрытиях с ПАС была предложена методика, основанная на применении уравнений теории упругости. При определении остаточных напряжений, возникающих при нанесении покрытия на инструментальную основу, приняты следующие допущения: покрытие «идеально» соединено с инструментальной основой, смещений между покрытием и инструментальной основой не возникает; материалы покрытия и основы изотропны и строго подчиняются закону Гука; напряжения по длине покрытия одинаковы. Исходными данными для расчета остаточных напряжений являются модуль упругости E и коэффициент термического расширения α для каждого слоя, разница между комнатной температурой и температурой конденсации покрытия Δt , площадь поперечного сечения каждого слоя F .

Для определения химического состава ПАС, обеспечивающего максимальное снижение остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных на инструментальную основу из быстрорежущей стали, были проведены расчеты остаточных напряжений в покрытиях, в которых в качестве ПАС и внешнего слоя использовались наиболее часто применяемые соединения. При этом в качестве ПАС использовались: чистые металлы (Ti, Zr, Cr, Mo, Fe); твердые растворы титана и тех же металлов (Ti – Me); твердые растворы нитрида титана и нитридов тех же металлов (Ti, Me)N. Расчеты остаточных напряжений проводились для покрытий как с одним, так и с двумя ПАС.

Анализ результатов расчета показывает, что величина остаточных напряжений определяется составом ПАС. Выявлено, что нанесение ПАС на основе титана и другого тугоплавкого металла, их нитридов, а также сочетания данных ПАС приводит к повышению величины остаточных напряжений в покрытии по сравнению с покрытием TiN. Применение в качестве ПАС чистых титана и железа и их нитрида снижает величину остаточных напряжений (рис. 1).

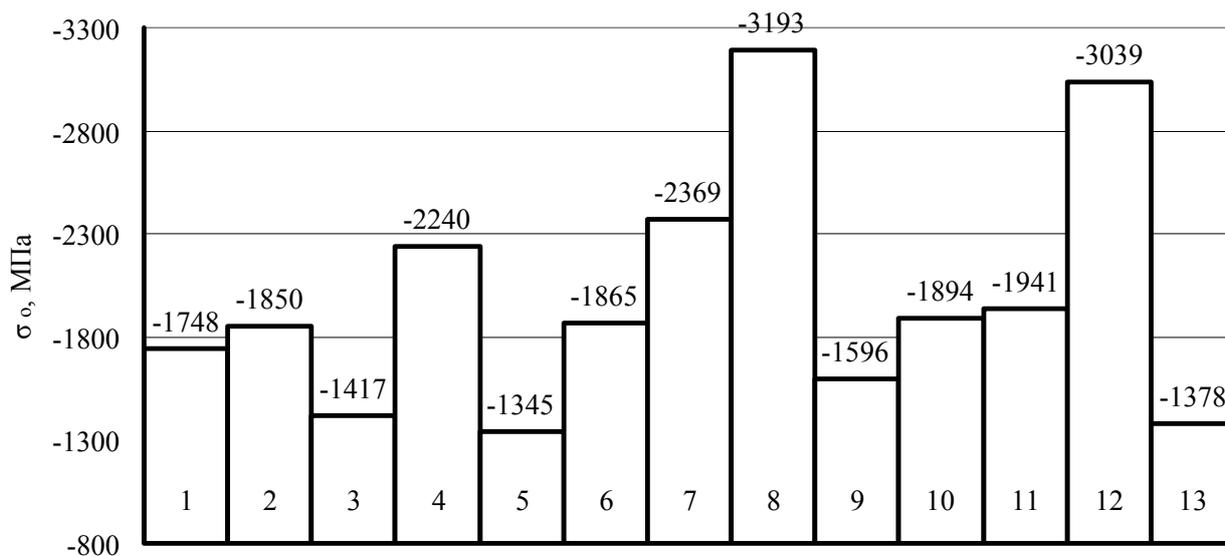


Рис. 1. Остаточные напряжения в износостойких покрытиях: 1 – TiN; 2 – (Ti – Cr) + TiN; 3 – (Ti – Zr) + TiN; 4 – (Ti – Mo) + TiN; 5 – (Ti – Fe) + TiN; 6 – (Ti, Cr)N + TiN; 7 – (Ti, Zr)N + TiN; 8 – (Ti, Mo)N + TiN; 9 – (Ti, Fe)N + TiN; 10 – (Ti – Cr) + (Ti, Cr)N + TiN; 11 – (Ti – Zr) + (Ti, Zr)N + TiN; 12 – (Ti – Mo) + (Ti, Mo)N + TiN; 13 – (Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN.

На основе анализа результатов теоретического расчета остаточных напряжений предложены конструкции

износостойких покрытий на основе TiN и (Ti, Zr)N, обеспечивающих снижение величины остаточных напряжений: (Ti – Fe) + TiN, (Ti, Fe)N + TiN, (Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN и (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N.

Для определения оптимальных конструкций износостойких покрытий были проведены экспериментальные исследования структурных параметров, механических свойств и работоспособности РИ. Износостойкие покрытия наносили на пластины из быстрорежущей стали Р6М5К5 на установке «Булат – 6Т».

На первом этапе исследований были определены химический состав ПАС на основе чистых металлов и их нитридов для износостойких покрытий с верхним слоем TiN и (Ti, Zr)N, компоновочные схемы установки и технологические режимы конденсации. Результаты экспериментальных исследований величины остаточных напряжений в покрытиях и коэффициента отслоения представлены в таблице.

Покрытие	Остаточные напряжения в покрытии σ_o , МПа	Коэффициент отслоения K_o
TiN	-1810	0,256
(Ti – Fe) + TiN	-1050	0,054
(Ti, Fe)N + TiN	-1273	0,115
(Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN	-1085	0,104
(Ti, Zr)N	-3620	0,857
(Ti – Zr) + (Ti, Zr)N + TiN	-1955	0,346

Как видно из представленных данных, нанесение между внешним слоем TiN и инструментальной основой ПАС как на основе чистых титана и железа, так и их нитрида, а также их сочетания, способствует снижению величины остаточных напряжений, при этом величина снижения определяется составом ПАС. Наибольшее снижение величины остаточных напряжений характерно для покрытия с ПАС на основе чистых титана и железа (Ti – Fe), которое составило 42 % по сравнению с однослойным покрытием TiN. Для покрытия с ПАС на основе нитрида титана и железа (Ti, Fe)N величина остаточных напряжений больше по сравнению с предыдущим покрытием, но меньше по сравнению с покрытием TiN на 30 %. Введение в конструкцию покрытия (Ti, Fe)N + TiN ПАС на основе чистых титана и железа снизило величину остаточных напряжений на 15 %, и они практически стали равны напряжениям, характерным для покрытия с ПАС на основе чистых титана и железа (снижение остаточных напряжений по сравнению с покрытием TiN составило 40 %). Следует отметить, что полученные экспериментальные значения величины остаточных напряжений хорошо координируются с расчетными данными. Разница между экспериментальными и расчетными значениями составила 22 %.

Уменьшение уровня остаточных напряжений повышает прочность адгезионной связи покрытий с инструментальной основой. Максимальное снижение коэффициента отслоения характерно для покрытия, содержащей ПАС на основе чистых титана и железа (Ti – Fe) + TiN, которое составило 79 % по сравнению с однослойным

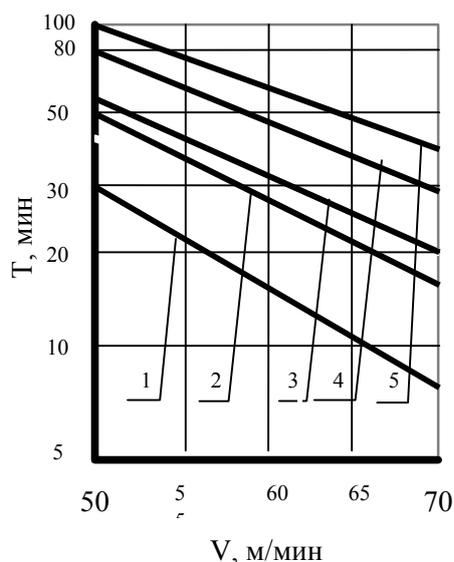


Рис. 2. Влияние скорости резания на период стойкости пластин с износостойкими покрытиями при точении заготовок из стали 30ХГСА: 1 – TiN; 2 – (Ti, Fe)N + TiN; 3 – (Ti, Zr)N; 4 – (Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN; 5 – (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N; а – S = 0,3 мм/об, t = 0,75мм.

покрытием TiN. Для покрытия с ПАС на основе сложного нитрида титана и железа (Ti, Fe)N + TiN снижение коэффициента отслоения составило 55 %, а для покрытия (Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN – на 59 % по сравнению с покрытием TiN. Различие в коэффициентах отслоения данных композиций связано и объясняется уровнем остаточных напряжений, действующих в них. Для покрытия на основе сложного нитрида (Ti, Zr)N: (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N характерны аналогичные изменения структурных параметров и механических свойств, как и для покрытия на основе TiN с сочетанием ПАС. Наличие в данной конструкции сочетания ПАС значительно снижает остаточные напряжения в износостойком покрытии – на 46 % по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N. Коэффициент отслоения по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N уменьшился на 60 %.

Были проведены исследования работоспособности РИ с предложенными износостойкими покрытиями, результаты которых представлены на рис. 2.

Проведенные исследования работоспособности РИ позволяют сделать следующие выводы. При обработке заготовок из стали 30ХГСА период стойкости РИ с износостойкими покрытиями (Ti, Fe)N + TiN и (Ti – Fe) + (Ti, Fe)N + TiN повышается соответственно в 1,9 и 2,8 раза по сравнению с покрытием TiN. Период стойкости пластин с покрытием (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N повышается в 1,7 раза по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N. Более высокая

работоспособность РИ с износостойкими покрытиями с ПАС по сравнению с инструментом с однослойным покрытием объясняется снижением величины остаточных напряжений в покрытиях, содержащих ПАС, и повышением прочности их связи с инструментальной основой, о чем свидетельствует уменьшение коэффициента отслоения. Кроме того, более высокая микротвердость ПАС на основе сложного нитрида и наличие дополнительной границы между верхним слоем и ПАС, приводящей к повышению трещиностойкости композиции, также способствуют повышению периода стойкости РИ.

Были проведены опытно-промышленные испытания сверл Ø7, зенкеров Ø29,7 и червячно-модульных фрез Ø55 из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке заготовок из сталей 25ХГМ и 40Х. Повышение периода стойкости РИ в производственных условиях составило 1,8 – 3,0 раза в зависимости от вида РИ.

УДК 6 (075. 8)

ПРОБЛЕМЫ ВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ НА БИРЖЕ ТРУДА

Крюк А.Г., канд. техн. наук, Браташевский А.Ю., канд. техн. наук, Дудко П.Д., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The internal market of the Kharkov region, the quality of human resources, the influence of training and retraining of personnel on the main indexes of efficiency of enterprise work have been analyzed in the article.

Технологическая подготовка менеджеров, обладающих мышлением, соответствующим новому времени и способных конкурировать на бирже труда, весьма сложная и трудная задача.

В современных условиях на менеджмент как систему принципов, методов и средств управления производством с целью повышения его эффективности и увеличения прибыли любого предприятия оказывает влияние множество факторов, которые делятся на две большие группы - внешние и внутренние. Наиболее значимыми среди внутренних факторов являются такие, как люди и технология. Одна из задач менеджмента заключается в соединении этих двух факторов в единое целое - производственную систему, эффективность которой необходимо непрерывно повышать.

Эффективное использование и развитие технологии требует учета многих других внутренних факторов менеджмента, и среди них, в первую очередь, результатов маркетинговых исследований. Необходимо учитывать требования потребителей и вытекающие из этого характеристики изделия, обеспечивающие его спрос на рынке, а значит, и получение значительной прибыли.

При конструировании изделия необходимо учитывать требуемый уровень качества, причём этот уровень, с одной стороны, должен полностью удовлетворять потребителя, а с другой - обеспечивать достаточно низкую себестоимость продукции и эффективное использование имеющихся на предприятии ресурсов. Это значит, что при конструировании необходимо учитывать квалификацию кадров, работающих на предприятии, возможность и целесообразность использования уже опробованного сырья и материалов, постоянство связей с надёжными поставщиками, а также наиболее полное использование производственных мощностей предприятия, каждой группы его оборудования.

Конечно, организму производство нового изделия, возможно и целесообразно произвести изменения в кадровом составе предприятия, в перечне используемого сырья, увеличить производственную мощность предприятия за счёт приобретения более прогрессивного оборудования. Однако при этом следует помнить, что любые изменения увеличивают сроки выпуска нового изделия на рынок, а значит, делают его уязвимым для конкурентов.

Изменения означают не только потерю времени, но и требуют значительных капиталовложений, которые осуществляются с учётом всех сопутствующих факторов. Поэтому конструкторам приходится работать в очень узком диапазоне, согласуя каждый свой шаг с маркетологами, экономистами и финансистами предприятия и, конечно, с технологиями, так как конструкция изделия должна учитывать сложившуюся на предприятии технологическую систему.

В свою очередь технологи, разрабатывая технологию изготовления изделия, должны в максимально возможной степени обеспечить экономию сырья, материалов и трудовых ресурсов, наиболее полное использование оборудования.

При разработке технологии необходимо также предусмотреть резервы, позволяющие в кратчайшие сроки либо резко увеличить выпуск изделий (иногда в два и более раз), либо сократить их выпуск и расширить производство других изделий, выпускаемых параллельно.

Такие требования к конструированию изделия и технологии его изготовления характерны для рыночной экономики и вынуждают разрабатывать несколько альтернативных вариантов с тем, чтобы, учитывая текущее положение на рынке, выбрать наиболее эффективный вариант и при необходимости переходить на другой - запасной.

Технология оказывает большое влияние на экономическую устойчивость и прочность позиций предприятия на рынке. Это влияние требует от руководителей фирм и их подразделений повседневного внимания к проблемам конструирования и технологий. Несмотря на это в рыночных условиях технический и технологический факторы несколько отодвигаются под воздействием других - экономических, финансовых, организационных.

Такое положение можно объяснить тем, что при плановой экономике главной целью менеджмента является выполнение производственного задания.

В условиях плановой экономики централизованно определяются размеры производства тех или иных изделий, устанавливаются определённые пропорции между ними. Любое нарушение пропорций вносит хаос в систему народного хозяйства. Поэтому выполнение плана каждым предприятием являлось решающим, главным показателем. Экономические показатели занимали более скромное место, хотя о них и не забывали.

Поскольку производство продукции в соответствии с планом было главным при функционировании предприятия, руководителями предприятий были люди, непосредственно занимающиеся производством. В основном все они имели

техническое образование и в проблемах техники и технологии разбирались хорошо.

Главная цель любой фирмы в условиях рыночной экономики - прибыль. В соответствии с этой целью руководителями фирм (менеджерами) в большинстве случаев являются люди с подготовкой в области менеджмента, экономики, финансов, иногда и с юридическим образованием.

Готовя инженеров-экономистов (фактически менеджеров) для плановой экономики вузы давали им хорошую техническую и технологическую подготовку. В условиях рыночной экономики такая подготовка должна была бы быть усилена, поскольку менеджеру в рыночной системе отводятся более ответственные должности, и он часто должен сам решать многие технические и технологические вопросы без привлечения специалистов. Поэтому в учебных планах подготовки менеджеров значителен удельный вес технических дисциплин.

В условиях рыночной экономики техническая подготовка менеджеров должна стать более универсальной, так как теперь менеджер готовится для работы не в одной отрасли (например, машиностроении), а во всех производственных или непроизводственных отраслях. Рыночная экономика не позволяет готовить узконаправленного специалиста. По окончании обучения менеджер попадает на рынок труда, и чем более он универсален, тем больше шансов у него получить работу. Таким образом, при подготовке менеджеров приходится, с одной стороны, учитывать необходимость достаточно хорошо знать технику и технологию отрасли, где он будет работать, а с другой - подготовить специалиста - универсала конкурентоспособного на рынке труда.

При решении этой задачи необходимо учитывать особенность того или иного региона и универсальность определенной отрасли. Так, основу промышленности Харьковского региона и прилегающих к нему регионов составляет машиностроение. Кроме того, структура машиностроительных предприятий универсальна. Она включает металлургические и химические цехи.

Организация производства, в известной степени, технология машиностроения довольно близки к таким крупным отраслям, как легкая и пищевая промышленность. Поэтому при технологической подготовке менеджеров в производственной сфере в Харьковском регионе за основу целесообразно взять машиностроительную отрасль.

Введенное вновь обязательное распределение выпускников вузов, обучающихся за счет госбюджета, позволяет уточнить отрасли производства, для которых необходимо готовить менеджеров. Хорошо подготовленный в области технологии менеджер будет успешно решать проблемы увеличения прибыли своего предприятия.

К сказанному, следует добавить, что важнейшим вопросом вузовской подготовки специалистов, конкурентоспособных на бирже труда, являются знания в области компьютерных технологий и экологической культуры.

УДК 621.951.47

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОТОПЛИВНЫХ АГРЕГАТОВ

Жданов А.А.

(г. Харьков, Украина)

In work the comparative analysis of existing methods for furnish of surfaces of details of hydrofuel units is given.

Проблема повышения надежности и ресурса машин тесно связана с обеспечением чистоты поверхностей и кромок деталей, а также рабочих полостей узлов. По статистическим данным до 50% всех отказов гидравлических систем самолетов, связанных с выходом из строя насосов, заклиниванием распределительных и регулирующих устройств, повышенным износом ответственных деталей происходит по причине технологических загрязнений. При обеспечении чистоты поверхностей деталей и рабочих полостей машин ресурс может быть увеличен в 2...3 раза [4]. Поэтому интерес к отделочно-зачистным технологиям (ОЗТ) в высокоразвитых, в промышленном отношении, странах не ослабевает на протяжении последних 30 лет. Только в США более 2000 тысяч фирм работают в данной области техники. За последние 10 лет увеличилось количество отделочно-зачистных методов с 80 до 110 [2].

В СССР (1990-91годы) была предпринята попытка перехода от разрозненных исследований и разработок отделочных технологий и оборудования к целостной технологической системе. Это прежде всего разработка государственной программы научно-технического развития этого направления техники [16].

В Харьковском национальном аэрокосмическом университете (ХАИ) работы по исследованию отделочно-зачистных технологий и оборудования на базе импульсных источников энергии были начаты в 1975 году, а с 1980 года исследования и разработки выполнялись по общесоюзным программам ГКНТ СССР.

Изучались не только физика процессов очистки поверхностей и кромок деталей, а и области применения новых технологий. Были обследованы предприятия практически всех отраслей машиностроения, в результате чего установлена взаимосвязь между работоспособностью, эксплуатационной надежностью, долговечностью изделий и трудоемкостью отделочно-зачистных операций. Трудоемкость этих операций, по мере убывания требований к надёжности изделий, следующая: при изготовлении отдельных видов боеприпасов-70...80% от общей трудоемкости изготовления; в авиадвигателестроении-30...55%; в авиаагрегатостроении-30...50%; в станкостроении - 4...12%; в тракторостроении-2...8%; в легпищемашиностроении - 2...4%. Низкое качество продукции последней отрасли послужило причиной ее расформирования и переподчинению предприятий оборонному комплексу. Установлено также, что эффект от применения ОЗТ достигается при 100% обработке деталей, входящих в замкнутую систему машины. При определении источников технологических загрязнений поверхностей деталей нами обнаружено, что все виды механической обработки, использующие режущий инструмент, образуют на поверхностях и кромках помимо макрозаусенцев еще микрозаусенцы

из обрабатываемого материала и инструмента, обладающие большой проникающей способностью. В подавляющем большинстве машин и механизмов эти технологические загрязнения необходимо удалять.

В таблице 1 приведены основные методы отделки поверхностей и кромок деталей. Такое многообразие методов тем не менее не решает проблем нашего машиностроения потому, что накопленный опыт использования многих технологий мало доступен, а для комплексной обработки деталей среднего машиностроительного завода необходимо 10...15 методов [16].

Рассмотрим технологические особенности типовых отделочно-зачистных методов. Исходя из физико-химического воздействия на материалы при обработке, существующие методы можно разделить на пять групп, каждая из которых подразделяется на подгруппы (см. табл. 1).

Классификация методов отделки и зачистки деталей [1... 11,14,15,16,18...27]

Таблица 1

Группа	Подгруппа	Метод	Производительность (приведенная к ручной)
1	2	3	4
Механические	Слесарные [⊗] , Лезвийные [⊗]	ручной, механизированный резцовый, фрезерный, дисковый, сверлильный, протяжной, щеточный, эластичными кругами	1
	Абразивные [⊗]	эластичный без СОЖ, ленточный без СОЖ, абразивный без СОЖ, алмазный без СОЖ, магнитоабразивный без СОЖ, криогенно-абразивный	2-4
	Давление	прокаткой, штамповочный	3-5
	Ударные [⊗]	пескоструйный, дробеметный, пневмодробеструйный пневмошариковый, пневмобойковый, крайцовочный, пневмопластошариковый, криогенно-дробеструйный,	3-5
	Галтовочные без СОЖ [⊗]	галтовочно-абразивный, галтовочно-обкатной	8-10
	Центробежные без СОЖ [⊗]	центробежно-абразивный центробежно-обкатной, центробежно-кордный	8-10
	Турбуляционные без СОЖ [⊗]	турбуляционно-абразивный, турбуляционно-обкатной, орборезонантный	8-9
	Вибрационные без СОЖ [⊗]	виброабразивный без СОЖ, виброобкатной без СОЖ, виброкордный без СОЖ	15-20
	Робототехнические [⊗]	лезвийным инструментом, струей жидкости и абразива	3-5
Химико-механические	Абразивные с СОЖ [⊗]	эластичный с СОЖ, ленточный с СОЖ, абразивный с СОЖ, алмазный с СОЖ, магнитоабразивный с СОЖ	3-5
	Гидродинамические [⊗]	гидродробеструйный, гидропескоструйный, гидрокавитационный, гидрокавитационно-абразивный	3-5
	Галтовочные с СОЖ [⊗]	галтовочно-абразивный, галтовочно-обкатной, галтовочно-кордный	9-10
	Центробежные с СОЖ	центробежно-абразивный с СОЖ, центробежно-обкатной с СОЖ, центробежно-кордный с СОЖ	9-10
	Вибрационные с СОЖ	виброабразивный с СОЖ, виброобкатной с СОЖ, виброкордный с СОЖ	10-11
Химические	Химические	химический с нагружением	10
	Термохимические	термохлорный, термокислородный	15
	Галтовочно-химический	галтовочно-химический	10-12
	Турбуляционно-химические	турбуляционно-химический, турбуляционно-химико-механический	12-18
	Виброхимические	виброхимический	17-20
Электрохимические	Электрохимические с погружением	анодный, катодный, реверсивный, электрогидратный	10-12
	Электрохимические локальные	электро-химико-механический, электро-химико-гидравлический	5-6

	Галтовочно-электрохимические	галтовочно-электрохимический, галтовочно-электро-химико-механический	9-12
	Виброэлектро-химические	виброэлектрохимический, виброэлектро-химико-механический	15-20
Физические	Ультразвуковые	ультразвукохимический, ультразвуковой, ультразвуко-локальный, криогенноультразвуковой	7-8
	Электроконтактные	прерывный, с предварительным замораживанием	5-6
	Термические	плавление в высокотемпературной жидкой и газовой среде	10-15
	Импульсные	взрывной, электрогидравлический, термоимпульсный газовый, термоимпульсный газовый с наложением электрического поля, термоимпульсный с наложением механических воздействий на детали, лазерный	20-40 и более

⊗ методы образующие вторичные загрязнения микрочастицами и микрозаусенцами

Механические методы, при которых удаление заусенцев осуществляется путем механического воздействия на обрабатываемые детали твердых тел (инструментов). К ним относятся: слесарные, лезвийные, абразивные методы, обработка давлением, ударные, галтовочные, центробежные, турбуляционные, вибрационные и робототехнические способы зачистки.

Химико-механические методы, при которых имеет место одновременное механическое воздействие инструмента и химическое воздействие внешней среды (жидкости). К этим методам относятся абразивная, гидродинамическая, галтовочная, центробежная, турбуляционная и вибрационная обработка с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Химические методы, при которых удаление заусенцев и других ликвидов осуществляется за счет воздействия химически активной жидкой или газовой среды; они подразделяются на химические, галтовочно-химические, турбуляционно-химические и виброхимические способы.

Электрохимические методы, для которых характерно химическое воздействие жидкой среды и электрического тока, проходящего через электролит и материал детали. Они подразделяются на электрохимические с погружением, электрохимические локальные, галтовочно-электрические, виброэлектрические способы.

Физические методы, при которых обработка осуществляется за счет физического воздействия на материал (ультразвуковых волн, электрических разрядов, электрогидравлических ударов и др). Их подразделяют на ультразвуковые, электроконтактные и импульсные (взрывной, электрогидравлический, термоимпульсный и др.) способы.

Рассмотрим сущность и технологические особенности типовых методов зачистки деталей, характеризующих возможности всего многообразия известных методов.

Удаление заусенцев лезвийным инструментом предусматривает снятие заусенцев и образование фасок при помощи стандартного или специального режущего инструмента. Снимаются заусенцы разных размеров на деталях из различных материалов. Длительность обработки колеблется от 10 до 30 секунд. Размеры детали не ограничены. По сравнению с ручной зачисткой производительность повышается в 4 раза. Метод не позволяет удалять заусенцы на внутренних поверхностях деталей сложной формы [8,10].

Удаление заусенцев вращающимися щетками происходит за счет абразивного или режущего воздействия щетки. Применяется сухая и влажная обработка при ручном, полуавтоматическом или автоматическом цикле. Удаляются заусенцы, доступные вращающейся щетке, величиной до 0,075 мм. Удаление больших заусенцев возможно при использовании щеток с нанесенным абразивом, но при этом происходит шаржирование поверхности. К недостаткам следует отнести изменение размеров детали в местах обработки, увеличение высоты микро неровностей и образование вторичных заусенцев и микрочастиц [8,10,15].

Удаление заусенцев абразивной лентой может производиться только на наружных поверхностях детали. У деталей сложной формы снятие заусенцев выполняется при ручной ориентации детали. Возможно удаление заусенцев толщиной до 0,3 мм. В процессе удаления заусенцев изменяется размер детали (до 0,05 мм), а также происходит шаржирование поверхностей деталей из мягких материалов, образуются микрозаусенцы и частицы, соизмеримые с величиной шероховатости [8,10,18,23].

Абразивно-струйная обработка осуществляется струей жидкости, насыщенной абразивными зернами, под давлением. Обрабатываются как наружные, так и внутренние поверхности. На деталях любых размеров и формы удаляются заусенцы толщиной до 0,25 мм. К недостаткам следует отнести: большой расход жидкости, необходимость очистки деталей от абразивной смеси после обработки, невозможность обработки глухих отверстий глубиной более 1,5 диаметра. Следует иметь в виду, что материалы, деформируемые в холодном состоянии, могут претерпевать пластические деформации. В отдельных деталях может быть получено изменение шероховатости поверхности и размеров, образуются микрозаусенцы и частицы, соизмеримые с величиной шероховатости. Если заусенцы имеют большую длину, то в процессе обработки они могут деформироваться и остаться не удаленными [8,10,18,23].

Обработка заусенцев с помощью высокоскоростной струи жидкости ведется при давлении выше 6 МПа. Используется вода с примесью растворимого в воде масла (от 1 до 3%). Удаляются заусенцы, доступные воздействию струи, толщиной менее 0,075 мм. Обрабатываются детали из алюминиевых сплавов, цинка, чугуна. Производительность обработки составляет в среднем 200...500 деталей в час. Серьезным фактором, ограничивающим применение этого метода, является низкая надежность механизмов, работающих под высоким давлением, обрабатываются только открытые поверхности [8,10,18].

Для удаления заусенцев галтовкой обрабатываемые детали помещаются в медленно вращающийся барабан, заполненный галтовочной абразивной смесью. Длительность обработки колеблется между одним и 100 часами на партию деталей. Небольшие стальные детали обрабатываются за 2 часа при удалении заусенцев толщиной до 0,075 мм и скруглением кромок радиусом до 0,25 мм. Эффективнее лезвийного, абразивного, ударного, механизированного методов в 2...30 раз. Величина деталей ограничивается размерами галтовочного барабана. Недостатком метода является изменение размеров и форм деталей, возможны забоины, царапины; не обрабатываются заусенцы в глухих отверстиях; заусенцы, имеющие большую длину, могут загигаться и завальцовываться на детали; шаржируется поверхность деталей, образуются микрозаусенцы и частицы, соизмеримые с величиной шероховатости [3,8,10,23,26].

Вибрационные методы удаления заусенцев отличаются от галтовочных тем, что на систему действует несколько сил, векторы которых находятся в разных плоскостях. Технологические возможности считаются аналогичными галтовке, однако производительность в 2...3 раза выше. Длительность цикла обработки колеблется от 10 минут до 5 часов [3,8,17,23,26].

Удаление заусенцев методом давления заключается в воздействии на ликвиды сил давления с помощью штампов или валков. Метод обеспечивает более высокую производительность по сравнению со слесарным, приспособления для реализации метода отличаются простотой. Этим методом можно обрабатывать только плоские и штампованные детали, при этом качество обработки невысокое и требуется дополнительная зачистка [8,10].

Ударные методы основаны на ударном воздействии мелких твердых тел на заусенцы. Особенностью этих методов является образование наклепа на поверхностях деталей. Производительность несколько выше, чем для режущего и абразивного методов. Однако данными методами невозможно обрабатывать точные детали, внутренние поверхности, глухие отверстия. При обработке изменяется шероховатость и размеры образуются микрозаусенцы [8,10,23,26].

Основой химических методов удаления заусенцев и частиц является погружение обрабатываемых деталей в резервуар с химикалиями, где за счет химической реакции происходит зачистка. Эти методы используются при обработке деталей из различных металлов. Толщина удаляемых заусенцев до 0,075 мм. Длительность обработки партии деталей от 15 до 20 минут. При обработке понижается точность, наблюдается неравномерное травление металла с поверхности детали. Это экологически опасные технологии с дорогостоящей утилизацией отходов [8,10,18,25,26].

Электрохимическое удаление заусенцев происходит в результате их растворения в электролите под действием электрического поля. Электролит находится в зазоре между заусенцами и электродами специальной формы. Наибольшая эффективность обеспечивается при снятии заусенцев толщиной менее 0,37 мм. Длительность процесса обработки составляет от 0,5 до 15 минут. Обрабатываются металлы и их сплавы. Метод позволяет удалять как наружные, так и внутренние заусенцы и не требует большого набора электродов, соответствующих контурам обрабатываемых поверхностей. Для удаления заусенцев больших размеров необходима длительная обработка при гораздо большей силе тока. Помимо удаления заусенцев происходит местное снятие материала детали (до 0,25 мм) и местное травление. Кроме того, вопреки рекомендациям, обрабатывать детали группами не всегда удается, так как без установочной базы невозможно выдержать оптимальные зазоры (около 0,2 мм) между электродами и обрабатываемой поверхностью у нескольких деталей одновременно. Оборудование (насосы, трубопроводы и т.д.) подвергается повышенной коррозии. Трудно подбирать раствор для каждого обрабатываемого металла. Экологически опасные технологии с дорогостоящей утилизацией отходов. Метод рекомендуется применять для партии деталей не менее 5000 штук [5,6,8,10,14,17,23,24,26].

Снятие заусенцев под воздействием ультразвука объясняется кавитационно-абразивной теорией. Метод применим для мелких деталей с толщиной заусенцев не более 0,08 мм. Время обработки 10...15 мин. Повышается величина шероховатости поверхности на 1-2 класса. Время процесса по сравнению с галтовочным, по данным американских фирм, сокращается в 20 раз. К недостаткам следует отнести отсутствие серийного оборудования, неизученность процессов, ограниченные размеры снимаемых заусенцев [8,10,26].

Электроконтактные методы используют для обработки тепло, выделяющееся при протекании тока через соприкасающиеся поверхности, обладающие повышенным контактным электрическим сопротивлением. Достоинства метода: возможность качественно и производительно удалять заусенцы и окалину со средних и крупногабаритных деталей; возможность местной очистки поверхности детали практически любых размеров. Недостатки: не изученность и не исследованность метода; отсутствие серийного оборудования; невозможность обработки мелких деталей; увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности; термическое изменение структуры поверхностного слоя, образование вторичных, более мелких заусенцев [10].

Из физических методов в настоящее время наиболее интенсивно изучаются за рубежом и на Украине термомеханический и термоимпульсный методы зачистки. В основе этих методов, как уже указывалось, лежит нагрев заусенцев и детали различными источниками тепла, но поскольку масса заусенцев незначительна по

отношению к площади поверхности в сравнении с тем же показателем самой детали, то заусенцы прогреваются быстрее и могут либо оплавляться, либо сгорать в среде окислителя. В качестве окислителя используют хлор и кислород. За рубежом в последние годы получил широкое распространение термохимический метод, в котором в качестве импульсного источника тепла используется газовая смесь с избытком кислорода. Этот метод позволяет удалять заусенцы с деталей любой формы, из отверстий малого диаметра, на пересечении каналов, т.е. там, куда есть доступ горючей смеси. В процессе обработки дополнительные заусенцы не образуются. К преимуществам также следует отнести высокую производительность, универсальность, возможность автоматизации процесса, стабильность результатов обработки, широкую номенклатуру обрабатываемых материалов за счет изменения соотношения компонентов горючей смеси.

Недостатком метода является ограничение по наименьшей толщине элементов детали, которая должна быть не менее, чем в 10 раз больше толщины максимального (по размерам) удаляемого заусенца, а также отложение конденсированных окислов на поверхностях деталей, которые удаляются химическим травлением. Кроме того, метод мало изучен, импортное оборудование отличается высокой стоимостью, надежное оборудование отечественного производства отсутствует [10,12,13].

Термоимпульсный метод отличается от термохимического тем, что доминирующими являются теплофизические процессы, при этом заусенцы и другие технологические загрязнения оплавляются с последующим сбросом продуктов сгорания из рабочей камеры до начала конденсации окислов.

К достоинствам метода следует отнести гибкость, высокую производительность, совмещение операций отделки поверхностей и кромок, возможность обрабатывать высокоточные детали, включая детали топливной аппаратуры.

К недостаткам следует отнести ограничение размеров обрабатываемых деталей размерами рабочей камеры [11,12].

Рассмотрим выбор отделочно-зачистных методов для агрегатного производства авиационной промышленности. Исходя из требований, предъявляемых к деталям агрегатного производства, заусенцы на них могут удаляться лезвийным, слесарным, химическим, электрохимическим методами без применения абразива, а также физическими методами без применения абразива. Применение методов, использующих абразивную среду, принципиально возможно, но требует последующей трудоемкой очистки от абразивных частиц, причем эта очистка является более длительной операцией, чем удаление заусенцев. Кроме того, надежность изделий в агрегатостроении обеспечивается очисткой внутренних и наружных поверхностей деталей от технологических загрязнений. Производство пневмогидравлических и топливных агрегатов является серийным и мелкосерийным, а также многономенклатурным, причем непрерывно обновляемым. Применение электрохимического метода сдерживается большими затратами времени на переоснащение производства, кроме того, неизбежны значительные материальные затраты, поскольку электроды-инструменты применимы только для конкретных размеров кромки (изменение длины или диаметра отверстия требует изготовления соответствующего электрода). Исходя из требований к точности деталей, ограничено применение химического метода, поскольку, наряду с удалением заусенцев и острых кромок, происходит травление поверхностей, что влечет за собой изменение размеров.

Выполненный анализ показывает, что из всего многообразия методов для агрегатостроения наиболее приемлемы слесарные, как правило, ручные, лезвийные и физические методы, без применения абразива и без образования вторичных заусенцев.

Лезвийные методы эффективны при обработке открытых поверхностей; ручная слесарная обработка требует высокой квалификации, не гарантирует качества, малопродуктивна, не исключает возможности брака на финишных операциях, после себя оставляет заусенцы, частицы материала.

Ультразвуковые методы малоэффективны и могут быть применены лишь для деталей с микрозаусенцами, не гарантируют очистку поверхностей в теневых зонах.

Применение рассмотренных методов механизированной зачистки деталей в агрегатостроении сдерживается жесткими требованиями к качеству деталей и узкой областью применения методов; при обеспечении требуемого качества значительно усложняется подготовка производства, увеличивается трудоемкость на этих операциях (прежде всего за счет подготовительно-заключительного времени при использовании различных видов оборудования).

В агрегатостроении применимы универсальные методы и оборудование, позволяющие обрабатывать, при минимальных затратах на подготовку производства, обширную номенклатуру деталей, изготовленных из различных металлов. При этом должны обрабатываться как внешние, так и внутренние поверхности детали независимо от сложности конфигурации поверхностей, размеров отверстий и т.д., должна обеспечиваться быстрая переналадка оборудования в зависимости от марки обрабатываемого материала, величины заусенцев и других факторов. Наиболее перспективными из всех рассмотренных способов является термоимпульсный в сочетании с ультразвуковым.

Литература

1. Афонин В. Л. Технологические роботы для механической обработки. Механика и управление. - В кн.: Научно-технический прогресс в машиностроении. - М., 1989, вып. 16, с.
2. Бабинов В. И., Кучма Т. В. Виброустановка для объемной обработки деталей. - Авиационная промышленность, 1981, №11, с. 46

3. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1974. - 136 с.
4. Белянин П.Н., Данилов В.М. Промышленная чистота машин –М.,Машиностро-ение, 1982,-224 с.
5. Геворкян Г. Г., Ландау Ю. И. Электрохимические станки и автоматы для снятия заусенцев. - Технология автомобилестроения, 1982, №5, с. 3-5.
6. Грибков Ю. П., Порплиц Р. П., Худяков В. Н. Новые способы зачистных операций. - Авиационная промышленность, 1978, №6, с.97-99.
7. Зачистка деталей в центробежно-планетарной установке ЦПУ-275 / В. В. Розенблат, А.А. Кокоркин, Б.С. Подвигин, Ю.М. Дружинин. - Авиационная промышленность, 1977, №3, с. 12.
8. Зачистка деталей приборов, агрегатов и радиоэлектронной аппаратуры. - В кн.: Обзор отечественного и зарубежного опыта. (Отчет НИАТ). - М., 1968. - 255 с..
9. Картышев Б.Н., Пирогов Я.В., Коровина Т.А. Использование вибромашин для механизированной зачистки деталей. - Авиационная промышленность, 1982, №1, с. 36-37, - ДСП.
10. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А. Отделочно-зачистная обработка деталей. - М.: Машиностроение, 1979. - 216 с.
11. Лосев А.В. Удаление заусенцев с деталей сложной формы методом термического взрыва. - В кн.: Использование импульсных источников энергии в промышленности: (Тез. докл.). Харьков, 1980, с. 152-153. - ДСП.
12. Лосев А.В. Особенности применения и перспективы развития термоимпульсной зачистки. - Механизация и автоматизация производства, 1991, №12, с. 28-30.
13. Матвеев А.П., Шпитанков Л.Н., Юденкова Г.Н. Высокоэффективные способы удаления заусенцев. - Авиационная промышленность, 1988, №3, с. 34-36. - ДСП.
14. Обрабатываемость электрохимическим методом сплавов, сталей и цветных металлов. - Руководящие технические материалы: РТМ-1.4.054-76. М.: НИАТ, 1977.- 27 с..
15. Разработка и внедрение высокопроизводительной технологии зачистки заусенцев в отверстиях перфорированных сит барабанных вакуум-фильтров. - Этап 1. "Исследование и разработка технологического процесса". - Пенза, 1978. - 18 с. (Отчет, №78047901 / ВНИИПТХИММАШ).
16. Рекомендации Всесоюзного научно-технического семинара "Механизация финишно-зачистных и отделочных работ в машиностроении".-Белгород, май 1990 г.
17. Розенблат В.В., Подвигин Б.С., Зимаков В.И. Механизация зачистных операций. - Авиационная промышленность, 1981, №1, с.39.
18. Такадзава Т. Способы удаления заусенцев: Пер. с япон. №13077/1. - Кикай-но кэнкю, 1978, т. 30, №8, с. 996-1002.
19. А. с. №627936 (СССР). Способ удаления заусенцев с деталей / А. В. Лосев, В. Г. Кононенко, Б. А. Колоколов и др. Оpubл. в Б. И., 1978, №38, с. 45.
20. А. с. №795823 (СССР). Способ удаления заусенцев с изделий / А.В. Лосев, В.Г. Кононенко, Б.А. Колоколов.- Оpubл. в Б. И., 1981, №2, с. 49.
21. А. с. №1297350 (СССР). Способ удаления заусенцев с токопроводящих деталей / А.В. Лосев, В.Г. Кононенко, С.Г.Кушнаренко и др. А. с. N1337222 (СССР).
22. Способ термического удаления заусенцев с изделий / В.П. Божко, В.Г. Кононенко, А .В. Лосев и др. - Оpubл. в Б. И., 1987, N34.
23. Drozda T. J. Deburring, the Common Cold of Industry .Production, 1977, v. 80, N5, p.62-75.
24. Gang L.-A., Wagner T. Systematik zur optimale Nauswahl geeigneter Entgrateanlagen. - Maschinenmarkt, 1977, 83, N41, S. 785-789.
25. Grindrod S. H. Deburring. A Review of Methods and Equipment. – Production Engineer, 1977, v. 56, N1-2, p. 19-25.
26. Gillespie LaRoux K. Worldwide Trends of Burr Technology & Present Status in the U.S.A.- 6th International Conference "Precision Surface Finishing and Deburring Technology-2000"p.6-57.
27. Patent 3645521 (USA). Apparatus for Treating Articles Manufacture to Eliminate Superflows Projections / Henry C. Jun, Edwein E. Rice. - Оpubл. 29.02.72.

УДК 621.9

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

Граница В.А., Карпусь В.Е., докт. техн. наук, проф.
(г. Харьков, Украина)

The analysis the application of the combined tools while forming prismatic details on multioperation machines.

Основным видом металлорежущего оборудования на современном высокоавтоматизированном производстве являются станки с ЧПУ, которые позволяют повысить производительность труда по сравнению со станками с ручным управлением в 1,5..2,5 раза. Однако стоимость такого оборудования в несколько раз, а то и на порядок выше. Поэтому для обеспечения высокой эффективности и окупаемости капитальных затрат на автоматизацию мехобработки необходимо, чтобы рост экономических затрат был соизмерим с повышением производительности труда.

Концентрация технологических переходов – главное направление развития мехобработки, позволяющее многократно сократить трудоемкость изготовления деталей, увеличить производительность, уменьшить себестоимость обработки. С наименьшими затратами осуществляется концентрация технологических переходов с помощью комбинированного режущего инструмента, который может применяться для обработки одной или нескольких соосных поверхностей. Поэтому анализ эффективности применения комбинированного стержневого инструмента на машиностроительном предприятии представляет интерес.

Соосные, подлежащие обработке комбинированным инструментом, поверхности должны характеризоваться сходимостью диаметров в направлении подачи режущего инструмента или иметь одинаковые диаметры, если они прерывистые. В этом случае допускается параллельная, параллельно-последовательная обработка поверхностей. Одну поверхность комбинированным инструментом можно обрабатывать только последовательно, поэтому обязательным условием является ее открытость. В тех случаях, когда к точности одной из обрабатываемых поверхностей предъявляются повышенные требования, необходимо осуществлять последовательную обработку этой поверхности. Однако последовательная работа ступеней комбинированного инструмента не может быть осуществлена при обработке глухих отверстий, а также сквозных отверстий, имеющих более, чем две ступени. Последовательная обработка ступеней может ограничиваться также требуемой производительностью из-за увеличения длины рабочего хода.

На Харьковском машиностроительном заводе «ФЭД» для обработки корпусных деталей из алюминиевых сплавов на многоцелевых станках для расширения их технологических возможностей широко применяются комбинированные стержневые инструменты и, в первую очередь, многоступенчатые спирально-перьевые зенкеры, которые объединили в себе положительные стороны спиральных зенкеров – плавность работы, удобство вывода стружки из зоны резания и перьевых зенкеров – простота заточки (2 зуба), больше места для размещения стружки. Ступенчатые зенкеры применяются для обработки отверстий диаметров от 3 до 55 мм. Такие зенкеры позволяют обрабатывать многоступенчатые отверстия (2-4 ступени) за один рабочий ход, обеспечивая высокую соосность поверхностей и стабильность линейных размеров.

Обработка одним комбинированным зенкером многоступенчатых отверстий повышает производительность труда в 1,2-1,35 раза. Так как подача и скорость резания комбинированным инструментом выбираются по лимитирующей ступени, то происходит недоиспользование по производительности ступеней большего диаметра. Поэтому перепад диаметров ступеней ограничен: для отверстий диаметром до 15 мм разность размеров не более 6 мм, а для больших диаметров – не более 12 мм.

Для многоступенчатых зенкеров режимы резания рассчитываются по известным в литературе критериям, основные из которых являются: количество ступеней зенкера, их размеры, количество одновременно работающих кромок, обрабатываемый материал и др.

В рассматриваемых примерах при обработке алюминия режимы резания выглядят следующим образом (таблица).

Таблица

Режимы резания ступенчатыми зенкерами

Зенкерование 3-х ступенчатым зенкером глухих отверстий Ø14,5, Ø16,5, Ø22,4				Зенкерование 3-х ступенчатым зенкером сквозных отверстий Ø18,5, Ø20,4, Ø30,6			
Рекомендуемые справочной литературой		Применяемые		Рекомендуемые справочной литературой		Применяемые	
Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
53,2	0,68	44,9	0,35	64,3	0,42	55,2	0,48

Ступенчатые зенкеры малых диаметров (до 15 мм) изготавливаются из быстрорежущей стали P6M5, а большие (более 15 мм) – оснащаются пластинами твердого сплава BK8.

Зенкеры применяемые для обработки сквозных ступенчатых отверстий, затачиваются по заборному конусу (рис.1), а для обработки глухих – по торцу зуба (рис.2).

Обработка комбинированным зенкером обеспечивает точность отверстия по 9-10 качеству и шероховатость $R_z=10$ мкм. Установлено, что применение комбинированного режущего инструмента на станках с ЧПУ позволяет уменьшить погрешность увода оси, а также достичь высокой соосности ступеней отверстия, которая определяется в основном точностью инструмента. Допуски на размеры межосевых расстояний отверстий при этом обычно находятся в пределах 0,1...0,5 мм, а допуски взаимного расположения поверхностей – 0,05...0,2 мм на 100 мм длины.

Количество поверхностей, сосредоточенных в одном зенкере, достигает при обработке цветных металлов до 10-ти, включая обработку торцев, фасок, цилиндров, конусов, что позволяет исключить на обрабатываемых центрах расточку различными резцами и выполнить операцию одним инструментом за один проход.

Количество комбинированных инструментов в одной наладке составляет в среднем 3-5 единиц, что при максимально возможной загрузке магазина до 30 единиц позволяет за счет комбинации зенкеров обрабатывать дополнительно до 20-ти различных поверхностей.

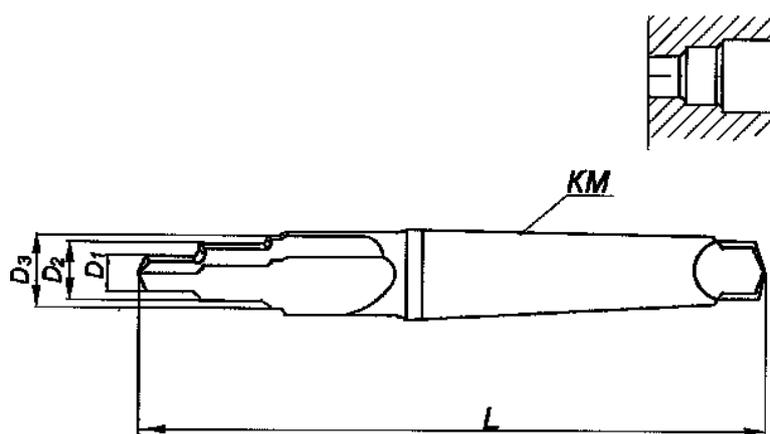


Рис.1. Геометрические параметры комбинированного зенкера для обработки сквозных отверстий.

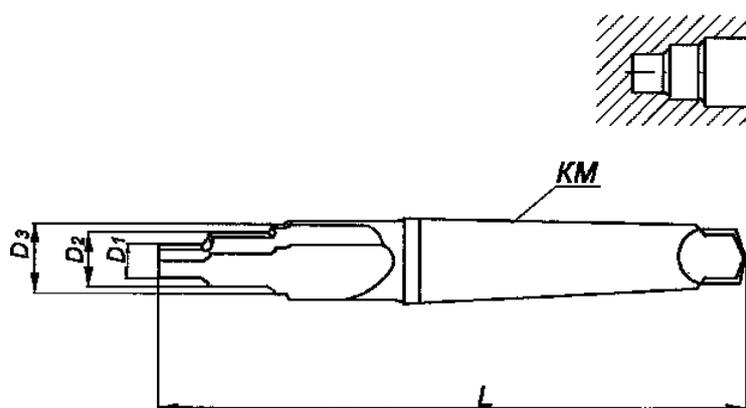


Рис.2. Геометрические параметры комбинированного зенкера для обработки глухих отверстий.

Комбинированный инструмент дороже, чем стандартный, поэтому существенное значение имеет число отверстий одного типоразмера, которые предполагается обработать с его помощью, и стойкость инструмента. Как показал производственный опыт, наиболее выгодно обрабатывать комбинированным инструментом детали из алюминиевых сплавов, так как его стойкость в этом случае высокая. Если затраты на комбинированный инструмент $Z_{ки}$ меньше, чем на стандартный $Z_{си}$, то его целесообразно выбирать всегда. Если же $Z_{ки} \leq 1,63Z_{си}$, то при двухступенчатой обработке суммарное число отверстий одного типоразмера в партии деталей должно быть не менее 500-600 штук. При $Z_{ки} \leq 1,43Z_{си}$ число таких отверстий уменьшается до 300-400 штук. Когда $Z_{ки} = (1-1,2)Z_{си}$, число однотипных отверстий составляет 250-300 штук. При параллельной обработке число отверстий следует уменьшить на 15-20 %. Если число совмещаемых переходов увеличивается до 3, то число отверстий уменьшается на 10-15 %.

Выводы. Обоснованное применение комбинированного режущего инструмента позволяет повысить производительность и точность обработки ступенчатых отверстий. Особенно эффективно применение комбинированного инструмента при обработке на многоцелевых станках, так как расширяются технологические возможности станка при неизменной емкости инструментального магазина.

УДК 621.9

УКРУПНЕННАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Карпуть В.Е., докт. техн. наук, проф., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин
(г. Харьков, Украина)

The method of approximate estimation of technological cost price on the detail forming using lathe and NC machine has been suggested.

Токарная обработка деталей в условиях современного многономенклатурного производства в зависимости от объема выпуска продукции может выполняться на токарно-винторезных и токарных станках с ЧПУ, много-резцовых, копировальных, многошпиндельных полуавтоматах и др. Существующие методики обоснования целесообразности применения станков с ЧПУ вместо универсальных с ручным управлением /1, 2/ требуют определения трудоемкости обработки детали по обоим вариантам, то есть проектирования технологических процессов. Область применения токарных автоматов и полуавтоматов определена приблизительно, имеются только общие рекомендации. Поэтому актуальным является разработка упрощенных методов расчетов трудоемкости и себестоимости обработки деталей на всех типах токарного оборудования. Выбор наиболее выгодного варианта предлагается осуществлять в два этапа. Вначале на основе укрупненных расчетов выделяется один-два наибо-

лее экономичных в данных производственных условиях варианта, а затем производится их тщательный технико-экономический анализ, в результате которого и делается окончательный вывод.

В качестве критерия оптимальности на первом этапе принята технологическая себестоимость обработки партии деталей C_T , которая рассчитывается по формуле

$$C_T = C_{C-M} \cdot T_{шт} \cdot N_{шт},$$

где C_{C-M} – себестоимость одной станко-минуты работы станка, грн; $T_{шт}$ – норма штучного времени, мин; $N_{шт}$ – величина производственной партии деталей, шт.

Норма штучного времени определяется по формуле

$$T_{шт} = \sum_{i=1}^p l_{pi} / 0,92 \cdot W_{Ti} \cdot K_{pi},$$

где l_{pi} – длина рабочего хода резца с учетом врезания и перебега при обработке i -ой поверхности, мм; W_{Ti} – технологическая интенсивность формообразования i -ой поверхности, мм / мин; K_{pi} – коэффициент резания, характеризующий непрерывность процесса формообразования в пределах рабочего цикла; p – число обрабатываемых поверхностей детали, шт.

Технологическая интенсивность формообразования, в первую очередь, зависит от обрабатываемого и инструментального материала, типа металлорежущего оборудования и диаметра обрабатываемой поверхности детали. На величину коэффициента K_p влияет диаметр и длина обработки. В качестве примера в таблице приведены аналитические зависимости, характеризующие процесс обработки стальных валов резцами, оснащенными твердыми сплавами.

Разработанная автоматизированная методика позволяет укрупненно определить норму штучного времени, используя только конструкторскую информацию, содержащуюся в рабочем чертеже детали.

Себестоимость станко-минуты работы станка включает следующие затраты: амортизационные отчисления Z_a ; затраты на ремонт и обслуживание Z_p ; затраты на электроэнергию Z_e и затраты на содержание производственной площади, занятой станком $Z_{пл}$.

Годовые амортизационные отчисления определяются по формуле

$$Z_a = 0,01 \cdot K \cdot a,$$

где K – балансовая стоимость оборудования, грн; a – норма амортизационных отчислений, в процентах к балансовой стоимости.

Таблица.

Математические модели

Характер обработки	Токарно-винторезный станок	Токарный станок с ЧПУ
Черновая	$W_m(d) = 1 / (2,701 \cdot 10^{-5} \cdot d + 9,0748 \cdot 10^{-4})$	$W_m(d) = 1 / (2,513 \cdot 10^{-5} \cdot d + 7,381 \cdot 10^{-4})$
Чистовая	$W_m(d) = 1 / (6,128 \cdot 10^{-5} \cdot d + 4,087 \cdot 10^{-4})$	$W_m(d) = d / (0,012 \cdot d - 0,348)$
Черновая	$K_p(d) = 7,987 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,589$ $K_p(L) = 9,243 \cdot 10^{-3} \cdot L + 0,049$	$K_p(d) = 8,08 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,55$ $K_p(L) = L / (0,335 \cdot L + 66,641)$
Чистовая	$K_p(d) = 5,92 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,604$ $K_p(L) = L / (0,335 \cdot L + 58,066)$	$K_p(d) = d / (0,695 \cdot d + 27,623)$ $K_p(L) = L / (0,656 \cdot L + 34,577)$

Годовые затраты на текущий ремонт, содержание и обслуживание оборудования рассчитывается по формуле

$$Z_p = (K_{пл} \cdot R_M \cdot (P_M + M_e) + R_э \cdot P_э) \cdot \Phi_д \cdot K_з,$$

где $K_{пл}$ – коэффициент, учитывающий тип производства (для единичного и мелкосерийного – 0,85, для серийного – 1,0 и для крупносерийного и массового производства – 1,15); R_M – категория сложности ремонта механической части оборудования; P_M – затраты на малые и средние ремонты, осмотры и межремонтное обслуживание в расчете на 1 час его работы, грн; M_e – стоимость смазочных, обтирочных и других вспомогательных материалов, расходуемых на 1 час работы оборудования на одну единицу его ремонтной сложности, грн; $R_э$ – категория сложности ремонта электрооборудования (включая систему программного управления станков с ЧПУ); $P_э$ – затраты на малые и средние ремонты, осмотры и межремонтное обслуживание электрооборудования в расчете на 1 час его работы, грн; $\Phi_д$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч; $K_з$ – коэффициент загрузки оборудования по времени.

Расчет затрат на силовую электроэнергию производится по формуле

$$Z_э = N_y \cdot K_M \cdot K_B \cdot \Phi_д \cdot K_з \cdot Ц,$$

где N_y – установленная мощность всех электродвигателей станка, кВт; K_M – коэффициент, учитывающий использование мощности электродвигателей; K_B – коэффициент, учитывающий использование электродвигателей по машинному времени (для станка с ЧПУ принимаем 0,5 – 0,8); C – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, грн.

Годовые затраты по использованию производственного помещения включают затраты на освещение, отопление, вентиляцию, ремонт и уборку зданий:

$$Z_{пл} = C_{пл} \cdot S \cdot \gamma,$$

где $C_{пл}$ – стоимость содержания и амортизации здания цеха в расчете на 1 м² площади, грн; S – площадь, занимаемая станком, м²; γ – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь.

Себестоимость станко-минуты определяется по формуле

$$C_{с-м} = (Z_a + Z_p + Z_o + Z_{пл}) / \Phi_d \cdot 60.$$

Выводы

Предложенная методика позволяет с минимальной трудоемкостью и приемлемой точностью рассчитать технологическую себестоимость для сравниваемых токарных операций с целью определения наиболее перспективных в экономическом отношении вариантов токарной обработки с учетом объема выпуска продукции на основании конструкторской информации, содержащейся в рабочем чертеже детали.

Литература

1. Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением / В.Л.Кубланов, И.А.Маковецкая, А.П.Назаренко и др. - М.: Машиностроение, 1987.- 152 с.
2. Житная И.П., Житный Е.П. Эффективность применения станков с числовым программным управлением. - К.: Техніка, 1976.- 92 с.

УДК 621.919.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ БУРОВЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРОТЯЖНОГО ИНСТРУМЕНТА

Емельянов С.Г., докт. техн. наук, Селезнев Ю.Н., канд. техн. наук,
Рухлин А.С., Широконов Ю.Г.
(г. Курск, Россия)

In clause it is analyzed designs of stretchers, designed on the unary circuit of cutting, and used for processing six-sided apertures of the big length and diameter. The description of single-pass stretchers, designed on the combined circuit of cutting, and used for processing the same six-sided apertures is given. The comparative analysis of their constructive and geometrical parameters, and as results of their commercial operation is given.

В конструкциях буровых установок используются детали, имеющие внутренние посадочные отверстия шестигранной формы с большим периметром и значительной длины [1]. Одним из представителей таких деталей является муфта, используемая для передачи крутящего момента от привода (вращателя) буровой установки на буровой механизм. Муфта изготавливается из стали 35 по ГОСТ 8731-74 с твердостью от HB140...170. Для выполнения служебного назначения муфта имеет центральное неправильное шестигранное отверстие (рис. 1) длиной 135 мм. и диаметром цилиндрических частей 90 мм.

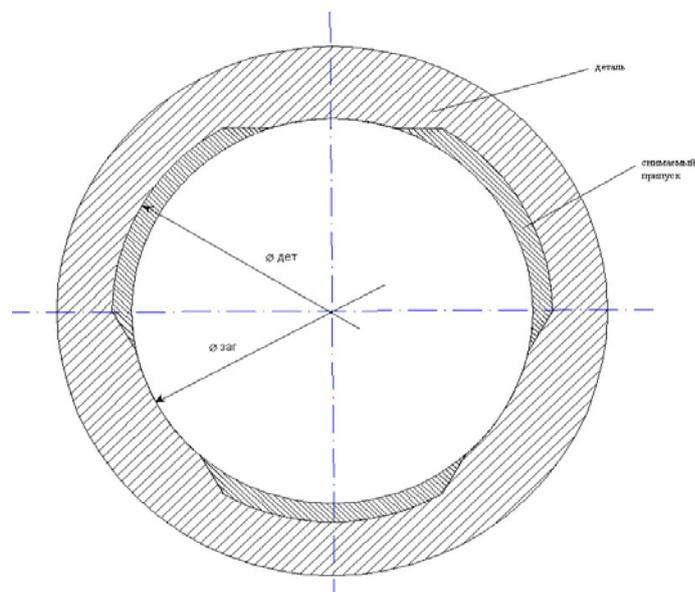


Рис. 1. Поперечное сечение отверстия муфты с припуском под долбление и протягивание.

Окончательные размеры отверстия обеспечиваются протягиванием с использованием комплекта из двух протяжек, изготовленных из быстрорежущей стали марки Р6М5 по ГОСТ 19265-73. Конструктивные и геометрические параметры комплекта протяжек, представлены в таблице 1.

С учетом параметров протяжного станка (рабочее усилие равно 204 Кн) и большого припуска (диаметр отверстия в заготовке 82 мм., припуск 4 мм. на сторону при периметре режущей части зуба около 170 мм. в начальной стадии протягивания), в технологии предварительной обработки отверстия под протягивание предусмотрена операция долбления, в результате выполнения которой удаляется часть припуска (Рис. 1) от диаметра 82 мм. до диаметра 87 мм с шириной долбления 20 мм. по каждой из трех граней с цилиндрической образующей.

Многолетняя промышленная эксплуатация комплекта протяжек показала, что работа чи-

стовых зубьев характеризуется интенсивным износом по задней поверхности, сопровождающимся вырывами микро-частиц материала зубьев. Для установления причин вырыва металла с задней поверхности зубьев протяжки был выполнен анализ конструктивных и геометрических параметров комплекта протяжек.

Как видно из данных таблицы 1, протяжки спроектированы с использованием четырех величин подъема на зуб: 0,050 мм – 41 режущий зуб протяжки первого прохода; 0,055 мм – 40 режущих зубьев протяжки второго прохода; 0,025 мм – первый зуб в протяжках первого и второго проходов, а также два чистовых зуба протяжки второго прохода (всего четыре зуба); 0,010 мм – последний чистовой зуб в протяжках первого и второго проходов (всего четыре зуба).

Таблица 1.

Конструктивные и геометрические параметры комплекта протяжек для обработки отверстия в муфте

Наименование параметров	Количественные характеристики параметров протяжек	
	1 проход	2 проход
Число режущих черновых зубьев	41	40
Число режущих чистовых зубьев	2	3
Число калибрующих зубьев	4	5
Шаг режущих зубьев, мм.	20	20
Ширина спинки зубьев вдоль оси, мм.	7	7
Шаг калибрующих зубьев, мм.	20	20
Передний угол режущих зубьев, град.	10	10
Передний угол калибрующих зубьев, град.	10	10
Подъем черновых зубьев, мм.	0,05	0,055
Подъем чистовых зубьев, мм.	0,01	0,025...0,01
Длина режущей части, мм.	860	860
Длина калибрующей части, мм.	80	100
Длина задней направляющей, мм.	100	100
Длина протяжки, мм.	1420	1430

В таблице 2 приведены результаты расчетов контактных нагрузок, возникающих на участках режущих зубьев при заложенных в протяжках величинах подъемов на зуб, а так же их анализ для быстрорежущей стали марки Р6М5К5 по ГОСТ 19265-73.

Для расчетов использованы данные (Приложения П1, П20 и П21 [2]) по осевым силам резания q_0 (Н), приходящимся на 1 мм. длины режущей кромки при протягивании конструкционных углеродистых и легированных сталей в отожженном нормализованном состоянии при использовании в качестве СОЖ сульфорезола, с корректировкой по следующим параметрам: твердость и состояние обрабатываемого материала, вида СОЖ, группы качества протягиваемой поверхности и способа разделения стружки. В соответствии с данными [3] для быстрорежущей стали марки Р6М5 (и ее аналога быстрорежущей стали марки Р18) $G_{вр} = 2600...3000$ МПа ($260...300$ кг/мм²).

Таблица 2

Анализ напряженного состояния зубьев двухпроходной протяжки

Подъем на зуб, мм.	0,010	0,025	0,050	0,055
Осевая сила резания, н/ мм	48	80	132	143
Удельная сила резания, н/ мм ²	4800	3200	2640	2600
Соотношение с допустимой нагрузкой на мм ² , %	Выше на 70	Выше на 15	Ниже на 10	Ниже на 12

Как видно из данных таблицы 2, чистовые зубья протяжек работают в условиях, когда контактные нагрузки на передней поверхности превышают допустимые в 1,85-1,60 раза для зуба с подъемом 0,01 мм и в 1,23-1,06 раза для зубьев с подъемом 0,025 мм., что и являлось причиной вырыва частиц металла с задней поверхности режущих зубьев.

С целью устранения выше указанных недостатков авторами статьи была спроектирована и внедрена в производство однопроходная протяжка (таблица 3). Это позволило увеличить подъем на зубьях, работающих по одинарной схеме резания, до 0,25мм на сторону. А так как по мере съема припуска периметр режущих зубьев уменьшался, то и двузубые секции, работающие по прогрессивной схеме резания, так же были сконструированы с подъемом 0,25мм. на сторону. Протяжка была изготовлена на Московском инструментальном заводе и стали Р18 по ГОСТ 19265-73. В таблице 4 приведены результаты расчетов контактных нагрузок, возникающих

на участках режущих зубьев при заложенных в протяжках величинах подъемов на зуб, а так же их анализ для быстрорежущей стали марки P18 по ГОСТ 19265-73.

Таблица 3.

Конструктивные и геометрические параметры однопроходной протяжки

Наименование параметров	Количественные характеристики параметров
Число режущих черновых зубьев, работающих по одинарной схеме резания	11
Число режущих черновых секций зубьев с прогрессивной схемой резания	6
Число режущих чистовых секций зубьев с прогрессивной схемой резания	1
Число калибрующих зубьев	7
Шаг режущих черновых зубьев с одинарной схемой резания, мм.	30
Ширина спинки черновых зубьев с одинарной схемой резания, мм.	9,5
Шаг режущих черновых и чистовых секций зубьев, мм.	30
Ширина спинки режущих черновых и чистовых секций зубьев, мм.	9,5
Шаг калибрующих зубьев, мм.	20
Передний угол режущих зубьев, град.	15
Передний угол калибрующих зубьев, град.	15
Подъем черновых зубьев, работающих по одинарной схеме резания, мм.	0,25
Подъем черновых секций зубьев с прогрессивной схемой резания, мм.	0,25
Подъем чистовых секций зубьев с прогрессивной схемой резания, мм.	0,085
Длина режущей части, мм.	750
Длина калибрующей части, мм.	140
Длина задней направляющей, мм.	80
Длина протяжки, мм.	1350

Таблица 4

Анализ напряженного состояния зубьев однопроходной протяжки

Подъем на зуб или группу зубьев, мм.	0,085	0,25
Осевая сила резания, н/мм	183	501
Удельная сила резания, н/мм ²	2153	2004
Соотношение с допустимой нагрузкой на мм ² , %	Ниже на 17-23	Ниже на 23 – 33

Как видно из данных таблицы 4, режущие зубья протяжки работают в условиях, когда контактные нагрузки на передней поверхности ниже допустимой в 1,33-1,17 раза.

Протяжка эксплуатируется в заводских условиях с января 2002 года. Без переточек ею за одиннадцать месяцев интенсивной эксплуатации было протянуто 1506 изделий. Общая протяженность протянутой поверхности составило 203 метра.

Использование протяжки с подъемом на зуб (группу зубьев) 0,25 мм. при протягивании отверстия в муфте обеспечило: сокращение количества протяжек в два раза при сокращении общей длины режущей части протяжек с 1720 мм до 750мм. или 2,3 раза; сокращение числа режущих зубьев с 86 до 25 или в 3,4 раза, что обеспечило значительное сокращение затрат при переточках в процессе восстановления режущих свойств; сокращение трудоемкости операции протягивания более чем в два раза; сокращение энергетических затрат (электроэнергии, расхода СОЖ и т.д.); высвобождение оборотного капитала, используемого на приобретение протяжек; сокращение загрузки протяжного станка в 2,3 раза; увеличение ширины спинки зуба по задней поверхности в 1,36 раза (с 7 мм. до 9,5 мм) позволит увеличить срок эксплуатации однопроходной протяжки.

Литература

1. Ю.Н. Селезнев, Ю.Г. Широконосов. Анализ процесса обработки гранных отверстий большой длины. Третья международная научно-техническая конференция «Медико-экологические информационные технологии 2000» 23-24 мая 2000г. МОРФ Курский ГТУ, Курск 2000, с. 114-116.
2. Протяжки для обработки отверстий. / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др.-М.: Машиностроение, 1986.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 1.- 5-е изд. перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1979.

УДК 621.919.2

ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ПРОТЯЖЕК

Емельянов С.Г., доктор техн. наук, Селезнев Ю.Н., канд. техн. наук, Павлов Е.В.

(г. Курск, Россия)

In activity the approach to selection of a design of splined drive is offered.

В настоящее время в машиностроении широко применяют шлицевые соединения с эвольвентной формой шлицев, обеспечивающие лучшее центрирование, плавность и кинематическая точность передачи вращения, по сравнению с прямобочными шлицевыми соединениями.

Экономически целесообразно эвольвентные шлицевые отверстия обрабатывать методом протягивания. При этом протяжки должны обеспечивать высокое качество и точность обработанной поверхности и в тоже время должна быть обеспечена необходимая стойкость их зубьев.

Лучшее качество шлицевого отверстия по всем элементам (требуемые размеры шлицев и расположение их относительно оси, концентричность наружного и внутреннего диаметров, отсутствие заусенцев на боковых поверхностях шлицевых пазов и на внутренней поверхности отверстия) обеспечивается в том случае, если одновременно протягивают шлицевые пазы и отверстие.

Эффективное решение данных задач обеспечивается при использовании комбинированных шлицевых протяжек, рабочая часть которых состоит из трех видов зубьев: фасочных (Ф), круглых (К) и шлицевых (Ш).

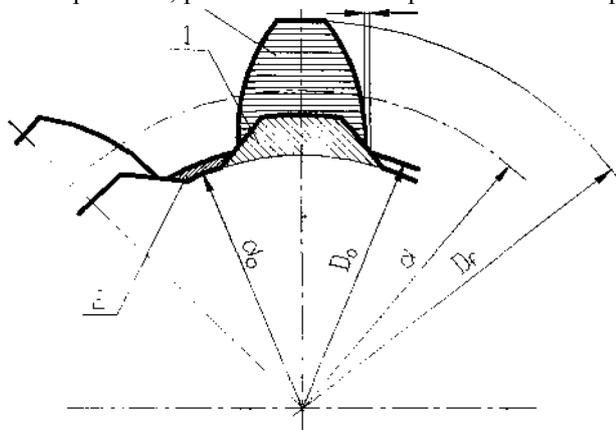


Рис. 1. Припуски, снимаемые зубьями (схема ФКШ): 1- фасочными; 2- круглыми; 3- эвольвентными.

При этом возможно несколько конструктивных исполнений расположения зубьев рабочей части протяжки. Наиболее предпочтительными являются следующие схемы.

Сначала располагаются фасочные зубья, предназначенные для снятия фасок на выступах шлицев, а также для разделения стружки, снимаемой круглыми зубьями; затем круглые зубья, обрабатывающие внутренний диаметр шлицев; далее шлицевые зубья, предназначенные для обработки профиля эвольвентных шлицев (схема ФКШ).

Однако если заготовка имеет большой припуск на обработку внутреннего отверстия, то круглая часть протяжки будет иметь сравнительно большую длину. При этом возможен поворот заготовки при прохождении круглых зубьев, вследствие чего пазы, прорезанные фасочными зубьями, могут сместиться относительно шлицевых зубьев.

Поэтому оптимальным в этом случае будет следующий порядок расположения: круглые черновые (обдирочные)

и переходные зубья, предварительно обрабатывающие внутренний диаметр шлицев; затем фасочные зубья, выполняющие фаску на выступах шлицев; затем круглые чистовые и калибрующие зубья, предназначенные для окончательной обработки внутреннего диаметра и параллельно с этим снятия заусенца, образовавшегося при прохождении фасочных зубьев; далее располагаются эвольвентные шлицевые зубья (схема $K_{on} \Phi K_{чк} Ш$).

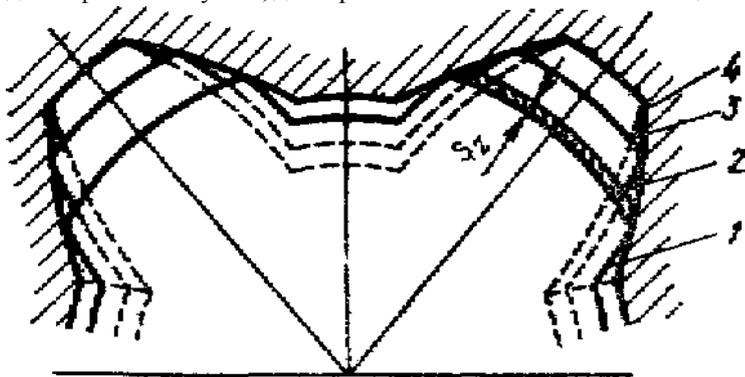


Рис. 2. Схема образования профиля впадины шлицевого эвольвентного отверстия зубьями протяжки: 1 - профиль первого зуба; 2 - профиль зуба, находящегося в средней части протяжки; 3 - профиль последнего зуба; 4 - профиль впадины.

В общем случае стойкость протяжек определяется следующими факторами: физико-механическими свойствами обрабатываемого и инструментального материалов; элементами режима резания; геометрическими параметрами зубьев протяжек; применяемыми смазывающе-охлаждающими жидкостями и др. Преобладающим видом износа зубьев протяжки является износ по задней поверхности и скругление режущих кромок.

Большое влияние на характер изнашивания режущих кромок оказывает схема резания, по которой работает протяжка. При работе протяжек, имеющих подъем на каждый зуб и узкие стружкоразделительные канавки, вследствие нулевого заднего угла, происходит значительный износ главной задней поверхности у уголков зуба и по краям стружкоразделительных канавок. Поэтому комбинированные

эвольвентные шлицевые протяжки необходимо проектировать по групповой схеме резания, особенно при схеме расположения зубьев $K_{on} \Phi K_{чк} Ш$ (для черновых и переходных, круглых зубьев). В данном случае разделение припуска на участки производится с помощью выкружек, поверхности которых имеют положительные вспомогательные

задние углы. Это способствует уменьшению трения вспомогательных задних поверхностей о поверхность резания и, следовательно, повышению стойкости зубьев протяжки.

В процессе обработки эвольвентных шлицев для устранения трения зубьев протяжки с обработанными участками профиля, а также для улучшения режущих свойств эвольвентных шлицевых зубьев необходимо предусмотреть углы поднутрения $\varphi_1 = 1 - 3^\circ$ и вспомогательные задние углы на боковых поверхностях зубьев $\alpha = 3 - 6^\circ$. Данная процедура приводит к значительному повышению стойкости зубьев протяжки (рис. 2).

Немаловажным фактором увеличения стойкости режущего инструмента является правильный выбор значения переднего угла. Исследования показывают, что при увеличении переднего угла уменьшаются контактные осевые нагрузки, при этом уменьшается сила трения, а, следовательно, стойкость зубьев эвольвентной шлицевой протяжки повышается. Однако выбор оптимального значения переднего угла необходимо осуществлять, принимая во внимание качество протянутой поверхности, процесс стружкообразования, прочность зубьев протяжки. При обработке заготовок из сталей оптимальным значением переднего угла является $\gamma = 12 - 15^\circ$.

Литература

1. Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. Н. Ашихмин и др. - М.: Машиностроение, 1986. - с. 109 - 146.
2. Пронкин Н. Ф. Протягивание труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1978. - с. 5-43.

УДК 621.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ТИПОРАЗМЕРА ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШЛИЦЕВЫХ ОТВЕРСТИЙ С ПРЯМОБОЧНЫМ ПРОФИЛЕМ С ЦЕНТРИРОВАНИЕМ ПО ВНУТРЕННЕМУ ДИАМЕТРУ.

Селезнев Ю.Н. канд. техн. наук, Рухлин А.С., Губанов В.С.

(г. Курск, Россия)

Are designed information base of design and geometrical parameters and technological capabilities of drive for processing of splined openings with straight lines by a profile with a centering on a minor diameter, and also system of the automated selection of a standard size of drive for processing of a concrete item with allowance for of capabilities both manufacturing plants of drive, and plants exploiting them. In the article their brief description, and also system requirements for their practical exploitation is given.

В настоящее время в различных промышленных изделиях (автомобилях, сельхозмашинах, буровых установках и т.п.) используется огромное количество шлицевых соединений различной конфигурации. Наиболее эффективным методом обработки точных внутренних шлицевых поверхностей (а в большинстве случаев и единственным) является процесс протягивания. В связи с этим, в производстве в эксплуатации для протягивания внутренних шлицевых поверхностей используется более двух тысяч типоразмеров шлицевых протяжек. Поэтому разработка систем автоматизированного выбора из стандартных рядов необходимого типоразмера протяжки для обработки шлицевых отверстий является актуальной задачей.

Проектирование любого объекта, связанного с автоматизацией, является многовариантной задачей. Потому актуальной становится задача выбора оптимального решения среди некоторого числа стандартных решений.

Для решения поставленной задачи необходимо было создать информационную базу стандартизованных протяжек для обработки шлицевых отверстий с прямобочным профилем с центрированием по внутреннему диаметру. После создания структуры информационной базы стандартизованных протяжек и ее наполнения задача выбора сводится к формированию критериев поиска и разработке программно-математического аппарата для решения задачи поиска.

Для разработки системы автоматизированного выбора типоразмера протяжки необходимо сформулировать исходные данные. Алгоритм автоматизированной системы выбора типоразмера протяжки (рис. 1) предусматривает разделение исходных данных на три смысловые группы (этапы выбора):

1) Исходные данные первого этапа выбора: конструктивные параметры протягиваемого отверстия (число шлицев, номинальный наружный диаметр, поле допуска номинального наружного диаметра, номинальный внутренний диаметр, поле допуска номинального внутреннего диаметра, номинальный размер ширины шлица, поле допуска ширины шлица, длина детали, минимальная длина протягивания, максимальная длина протягивания, шероховатость боковых поверхностей шлицев, шероховатость внутреннего диаметра);

2) Исходные данные второго этапа выбора: минимальный диаметр отверстия в заготовке, материал заготовки, твердость заготовки, состояние заготовки, материал хвостовика протяжки, материал рабочей части протяжки.

3) Исходные данные третьего этапа выбора: модель протяжного станка; тип протяжного станка (горизонтальный или вертикальный); состояние протяжного станка (новый или изношенный); тяговая сила станка; рабочий ход станка; минимальное межцентровое расстояние технологического оборудования, используемое для изготовления протяжки; глубина шахтной печи, используемой для нагрева протяжки под закалку.

На первом этапе предлагается ввести информацию о параметрах шлицевого соединения и данные об изделии (рис. 2).

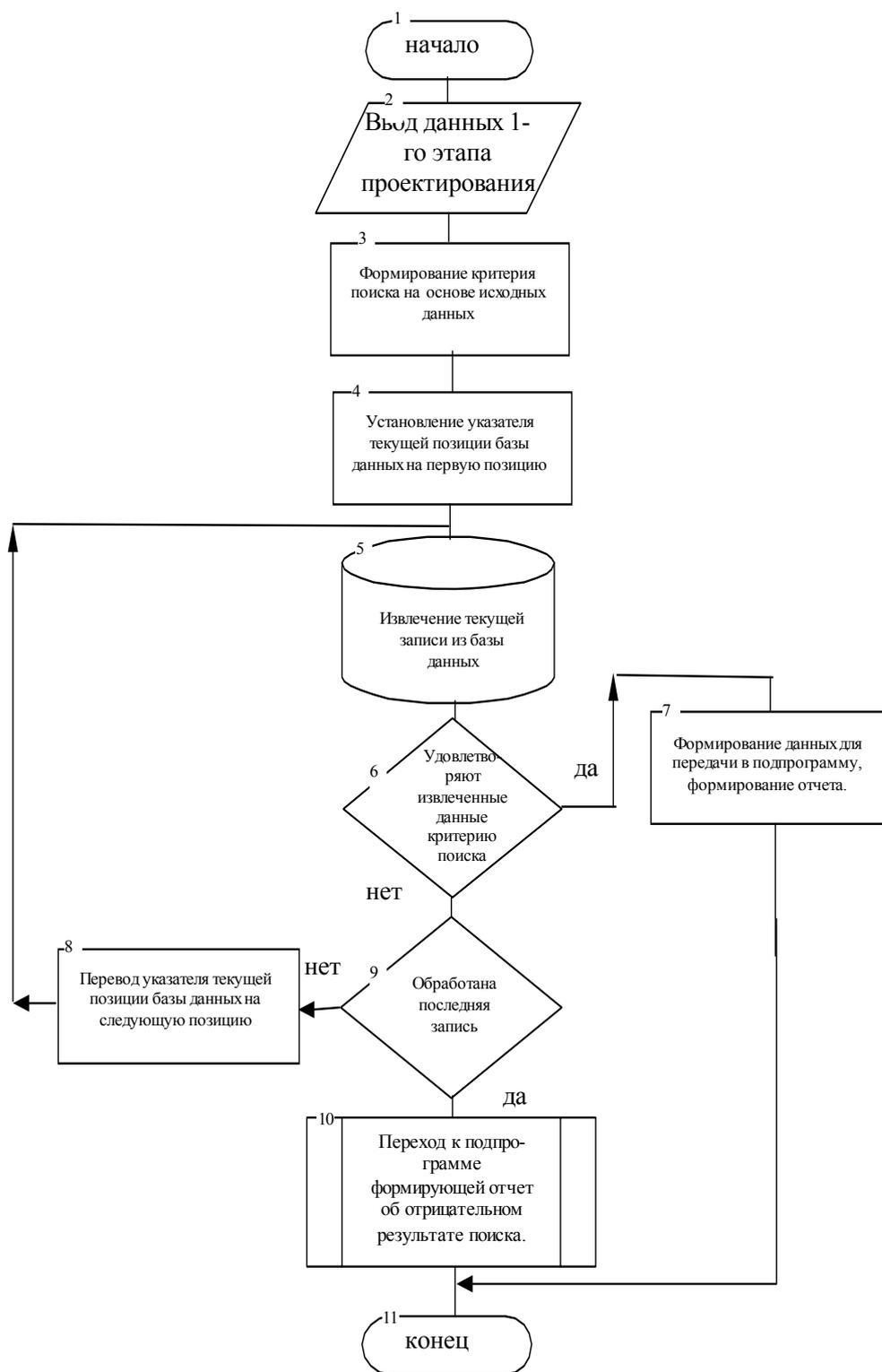


Рис.1. Алгоритм выбора типоразмера протяжки.

Второй этап требуется для уточнения информации касающейся материала заготовки и протяжки. Эти данные нужны для расчета на прочность и жесткость протяжки, а так же для определения коэффициентов, характеризующих среду работы проектируемого инструмента. На рис. 3 приводится внешний вид окна второго этапа проектирования.

На третьем, заключительном этапе, происходит ввод данных о виде протяжного оборудования и заводе изготовителе (рис. 4). Они необходимы для проверки рассчитанного инструмента на возможность изготовления и эксплуатации в условиях реального производства.

Проектирование шлицевых протяжек.

Введите следующие данные об изделии, необходимые для проектирования.

Параметры шлицевого соединения:
Наружный диаметр D = 12 Модуль m = 1 Число шлицев z = 10
Поле допуска по D H7 Поле допуска по e 9H

Материал заготовки:
 Сталь Чугун Бронза Латунь Алюминий

Пределы длин протягивания, мм:
L min = 15 L max = 23

Состояние заготовки:
 После закалки и отпуска
 В отожженном, нормализованном и горячекатанном состоянии
 Термообработке не подвергалась

Твердость заготовки:
200

Материал хвостовой части протяжки 40X Материал рабочей части протяжки P6M5

Отмена Далее

Рис. 2. Окно первого этапа проектирования.

Проектирование шлицевых протяжек. Этап №2. (Информация о заготовке)

Введите информацию о заготовке и протяжке

Введите минимальный диаметр отверстия в заготовке (мм) 10.7

Выберите материал заготовки:
 сталь чугун бронза латунь алюминий

Введите твердость заготовки (HВ) 200

Введите состояние заготовки:
 После закалки и отпуска
 В отожженном, нормализованном и горячекатанном состоянии
 Термообработке не подвергалась

Введите материал хвостовой части протяжки 40X

Введите материал рабочей части протяжки P6M5

Отмена Далее

Рис. 3. Окно второго этапа проектирования.

Проектирование шлицевых протяжек. Этап №3 (Параметры протяжного станка).

Введите исходные данные для проектирования.

Параметры протяжного станка:
Модель станка 7552
Тип протяжного станка:
 Горизонтально-протяжной Вертикально-протяжной
Состояние станка:
 новый изношенный
Тяговая сила станка, Н 1020000 Рабочий ход станка, мм 2000

Данные завода-изготовителя протяжек:
Минимальное межцентровое расстояние технологического оборудования, мм 1600
Глубина шахтной печи для нагрева протяжки под закалку, мм 1600

Отмена Далее

Рис. 4. Окно третьего этапа проектирования.

После ответа на эти вопросы, пользователь не имеет возможность вмешиваться в процесс проектирования. После завершения проектирования, пользователю дается возможность внести дополнения и изменения в расчет, выполняемый автоматически.

Системные требования для практического использования системы автоматизированного выбора типоразмера протяжки «Шлиц» не ниже: Pentium 166MHz, Win9x\WinNT\Win2000\WinXP, 32Mb RAM, не менее 250Mb свободного дискового пространства.

УДК 621.923

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ

Новиков Г.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In work technological opportunities of extremely perspective method of processing of materials – vibrating cutting are proved.

Как известно, возникающие вибрации при резании отрицательно влияют на показатели обработки: стойкость режущего инструмента снижается, а качество обработки ухудшается. При достижении определенного уровня амплитуды колебаний инструмента процесс резания практически неосуществим. В настоящее время разработаны эффективные средства для устранения самовозбуждающихся колебаний при резании.

Вместе с тем, как показывает опыт, наложение на режущий инструмент высокочастотных колебаний (от специального источника колебаний) позволяет повысить эффективность процесса резания. Например, экспериментально установлено, что применение вибрационного резания обеспечивает повышение стойкости режущего инструмента, качества и точности обработки. В чем же состоит физический эффект вибрационного резания. По данным крупного японского специалиста Д. Кумабэ [1], сила резания при вибрационном резании в 3-10 раз меньше, чем при обычном резании (колебания резца происходят в направлении скорости резания). Объясняется это тем, что в результате кратковременного воздействия силы резания резец не успевает получить перемещение, соответствующее статическому приложению этой силы. В отличие от традиционной зависимости между силой P и перемещением x

$$x = \frac{P}{c}, \quad (1)$$

в условиях ударного взаимодействия резца с обрабатываемым материалом справедлива другая зависимость

$$x = \frac{\tau}{T} \cdot \frac{P}{c}, \quad (2)$$

где c - приведенная жесткость резца; T - период колебания резца; τ - время контакта резца с обрабатываемым материалом (в течении периода колебаний).

Соотношение τ/T выполняет роль коэффициента динамичности. Очевидно, чем меньше соотношение τ/T , тем меньше перемещение x и больше динамический эффект. Следовательно, уменьшая соотношение $\tau/T \rightarrow 0$, можно практически исключить перемещение $x \rightarrow 0$, т.е. резец будет колебаться относительно исходного состояния (без приложения силы). Это позволяет как бы исключить упругие перемещения в технологической системе и добиться идеальной точности обработки. Сделанный вывод согласуется с экспериментальными данными – при вибрационном резании действительно достигается чрезвычайно высокая точность обработки.

Необходимо отметить, что силу резания Д. Кумабэ определял на основе экспериментально установленной величины упругого перемещения x , которая была в 3 – 10 раз меньше, чем при обычном резании. Если воспользоваться зависимостью (1), то сила резания P будет так же в 3 – 10 раз меньше, чем при обычном резании. Если же расчет вести по зависимости (2) с учетом соотношения τ/T , то сила P может быть такой же как и при обычном резании. Следовательно, эффект вибрационного резания может быть обусловлен не уменьшением силы P , а уменьшением перемещения x . По данным Д. Кумабэ, соотношение τ/T в опытах устанавливалось равным 0,1, т.е. время контакта резца с обрабатываемым материалом было в 10 раз меньше периода колебаний резца. Это может быть подтверждением сделанного предположения о том, что значения силы резания P при вибрационном и обычном резании близки.

Опытами установлено, что при вибрационном резании температура меньше, чем при обычном резании. На первый взгляд может показаться, что это связано с уменьшением силы резания P . Однако возможна и другая причина. Как известно, при взаимодействии резца с обрабатываемым материалом под действием силы P температура достигает своего максимального значения не сразу, а через определенный промежуток времени. Если время взаимодействия резца с материалом при вибрационном резании меньше этого промежутка времени, то температура будет меньше максимального значения, достигаемого при обычном резании. В этом состоит тепловой эффект вибрационного резания.

Уменьшение температуры ведет к повышению стойкости инструмента и качеству обработки. Таким образом, температурно-силовой эффект вибрационного резания может быть связан с инерционностью тепловых и механических процессов при резании, в результате чего (в силу кратковременного взаимодействия резца с обрабатываемым материалом) температура и упругое перемещение резца не успевают получить значения, соответствующие статическому приложению силы P .

Указанный эффект будет иметь место в том случае, если соотношение τ/T значительно меньше единицы. Для этого необходимо выполнить условие

$$V < 2 \cdot \pi \cdot a \cdot f, \quad (3)$$

где V - скорость резания; a, f - соответственно амплитуда и частота колебания образца.

В своей работе Д. Кумабэ приводит большое количество экспериментальных графиков, показывающих, что

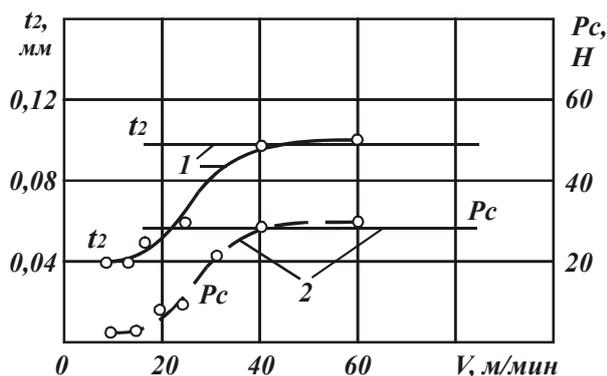


Рис.1. Зависимость главной составляющей силы резания P_c и толщины стружки t_2 от скорости резания V : частота колебаний - 20кГц, амплитуда колебаний - 45 мкм, передний угол - 30° , подача (глубина резания) - 0,03мм/об: 1 - обычное резание; 2 - вибрационное резание.

эффект вибрационного резания достигается при условии (3). При превышении скорости резания, определяемой неравенством (3), вибрационное резание практически не отличается от обычного резания, рис.1.

Важной особенностью вибрационного резания является уменьшение толщины стружки (соответственно коэффициента усадки стружки и увеличение условного угла сдвига материала β , рис.2). Согласно, известной формулы проф. Зворыкина К.А.

$$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \varphi}{2}, \quad (4)$$

угол сдвига β определяется передним углом инструмента γ и углом трения на передней поверхности инструмента φ . Чем меньше угол трения φ , тем больше угол сдвига β . Из этого можно предположить, что увеличение угла сдвига β и улучшение условий стружкообразования при вибрационном

резании связано с уменьшением угла трения φ (или коэффициента трения $f_0 = tg\varphi$ на передней поверхности инструмента). Увеличение угла сдвига β , как известно, ведет к уменьшению силы резания. Следовательно, при вибрационном резании возможно уменьшение силы резания за счет снижения трения на передней поверхности инструмента.

Здесь важно раскрыть причину возможного уменьшения коэффициента трения. В связи с тем, что длительность контакта инструмента с обрабатываемым материалом составляет всего 0,1 периода колебания инструмента, фактическая линейная скорость металла будет в 10 раз больше скорости резания. Соответственно, скорость перемещения стружки по передней поверхности инструмента будет приблизительно в 10 раз превышать скорость резания. По сути, мы переходим в область высокоскоростного резания. С увеличением скорости резания, как известно, уменьшается коэффициент трения.

Несмотря на одинаковый уровень фактической скорости резания при высокоскоростном и вибрационном резании, между двумя методами обработки существует различие, связанное с различной длительностью контакта инструмента с обрабатываемым материалом. В результате периодического характера взаимодействия инструмента с материалом при вибрационном резании температура будет меньше, чем при высокоскоростном резании, что подтверждается экспериментально [1].

Сделанные выводы позволяют окончательно сформулировать физическую сущность эффекта вибрационного резания. Во-первых, это инерционность тепловых и механических процессов при резании (как показано выше). Во-вторых, - снижение интенсивности процесса резания на передней поверхности инструмента.

Для нормального протекания процесса вибрационного резания кинетической энергии инструмента (за один период его колебаний) должно быть достаточно для деформирования обрабатываемого материала на величину $l = \alpha \cdot a$, где a - амплитуда колебаний, α - безразмерный коэффициент.

Кинетическая энергия колеблющегося инструмента равна

$$W = \frac{m \cdot V_0^2}{2}, \quad (5)$$

где m - приведенная масса резца; $V_0 = \frac{4a \cdot f}{T} = \frac{2a \cdot f}{\pi}$ - средняя скорость колебаний инструмента; f - частота колебаний.

Примем кинетическую энергию W равной работе резания $P \cdot l$, тогда

$$l = \frac{m \cdot V_0^2}{2P} = \frac{2 \cdot m \cdot a^2 \cdot f^2}{\pi^2 \cdot P}. \quad (6)$$

Чем больше l при заданных значениях амплитуды и частоты колебаний, тем меньше P и выше эффект вибрационного резания.

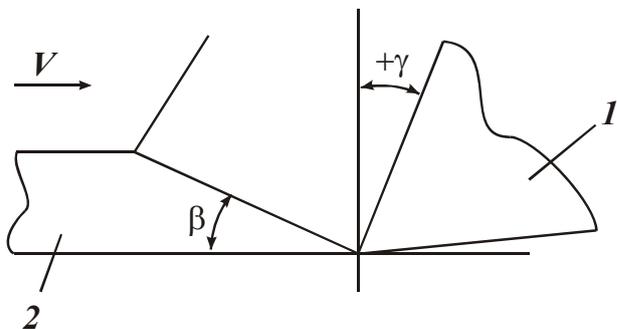


Рис.2. Расчетная схема резания: 1 - резец, 2 - обрабатываемый материал.

Из зависимости (6) вытекает важный вывод, связанный с возможностью реализации при вибрационном резании достаточно больших значений силы резания P , которые при обычном резании практически не осуществимы. Это открывает новые перспективы резания труднообрабатываемых материалов, а также существенного увеличения производительности обработки за счет увеличения площади поперечного сечения среза (толщины и ширины среза). Пожалуй, эффект реализации больших значений силы P следует рассматривать основным при вибрационном резании. Именно этим можно объяснить высокую результативность вибрационного резания труднообрабатываемых материалов, установленную В.Н. Подураевым и другими исследователями. Исходя из зависимости (6), увеличивая массу m и скорость V_0 , можно для достаточно больших значений P обеспечить перемещение l , тогда как реализовать это условие при обычном резании практически невозможно. Наглядным примером тому может быть забивание свай в землю, которое осуществляется исключительно динамическим методом (ударом), или разрушение твердых пород с помощью отбойного молотка (вибрационного устройства).

Литература

1. Кумабэ Д. Вибрационное резание. -М.: Машиностроение, 1985. –424с.

УДК 681.2(031)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТА В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНО- И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, проф., Лищенко Н.В.
(г. Одесса, Украина)

Experimental data metrological processing techniques for experimental error definition is given.

Известно, что любое теоретическое знание учитывает наиболее важные свойства и особенности изучаемой технической системы (ТС) или явления. Однако параметры и показатели ТС, учитывающие эти свойства и особенности, на практике подвержены влиянию различных возмущающих факторов. Как следствие, в результатах экспериментального измерения параметров и показателей ТС содержатся два вида погрешностей: систематические и случайные [1]. Следовательно, основной задачей любого эксперимента является выделение информации, характеризующей свойства и особенности ТС, путем отделения систематических и случайных погрешностей или путем оценки доверительной вероятности полученных результатов.

Назовем параметрами и показателями ТС такие оценки свойств ТС, которые получаются при использовании прямых и косвенных измерений, соответственно. Причем, при прямых измерениях искомое значение измеряемой величины получают прямым сравнением этой величины с ее мерой, а при косвенных - с помощью вычислений на основании известной зависимости между этой величиной и другими величинами, полученными при прямых измерениях.

Внедрение в производственную практику компьютерных систем диагностики и регулирования технологических процессов непосредственно связано с возможностью и достоверностью измерения параметров и показателей этих процессов в условиях влияния на результаты измерений систематических и случайных погрешностей. Такие измерения, как правило, проводятся в режиме реального времени (on-line), поэтому алгоритмы измерения параметров и их оценки должны выполняться автоматически. Следовательно, задача разработки таких информационных технологий измерения и соответствующих алгоритмов является актуальной в технологии машиностроения. В зарубежной литературе указанная задача получила название Smart-Self Technology. Сущность задачи заключается в такой компьютерной обработке результатов измерения, которая позволяет выделить полученный сигнал с требуемым уровнем доверительной вероятности.

Статистическая обработка выборки экспериментальных данных выполняется в следующей последовательности [2].

1. Исключить (или уменьшить) систематические составляющие погрешности из результатов наблюдений. Систематические погрешности можно обнаружить поверкой рабочего средства измерений по образцовому, имеющему более высокую точность, и применением нового прибора, который делает возможным переход от косвенных измерений к прямым с достаточной точностью.

2. Проверить соответствие экспериментального закона распределения теоретическому нормальному (аналитическим или графическим способом). В случае, если можно предполагать, что выборка является частью генеральной совокупности, распределенной по нормальному закону, обработка данных продолжается.

3. Вычислить наиболее вероятное значение \bar{x} искомой величины по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (1)$$

4. Вычислить среднеквадратическое отклонение S результата наблюдения по формуле

$$S = \sqrt{(n-1)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (2)$$

5. Для оценки аномальности некоторого результата наблюдения x_k , который заметно отличается от остальных в выборке, вычислить показатель аномальности V_k для этого результата. Затем, задавшись доверительной вероятностью для данного объема выборки n , необходимо найти параметр β . Критерием аномальности является условие $V_k \geq \beta$. Если подозрения в аномальности подтверждаются, этот результат наблюдения (x_k) должен быть из этой выборки исключен, а значения \bar{x} и S вычислены заново (для этой же выборки, но без x_k). Причем,

$$V_k = |(x_k - \bar{x}) / S| \quad (3)$$

6. Вычислить коэффициент вариации v для данной выборки, который представляет собой относительную величину выборочного среднеквадратического отклонения (измеряется в процентах), причем

$$v = 100 \cdot S / \bar{x} \quad (4)$$

7. Вычислить среднеквадратическое отклонение результата измерения $S_{\bar{x}}$

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{n} \quad (5)$$

8. Определить доверительную границу случайной составляющей погрешности результата измерения ε

$$\varepsilon = t_\gamma \cdot S_{\bar{x}}, \quad (6)$$

где t_γ - коэффициент доверия, зависящий от объема выборки n и принятой доверительной вероятности γ .

9. Определить доверительную границу оставшейся систематической составляющей погрешности результата измерения

$$\Theta = K \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (7)$$

где Θ_i - граница i -й оставшейся систематической составляющей погрешности; m - число оставшихся систематических составляющих; K - коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности, числа систематических составляющих и соотношения между ними.

Причем,

$$\Theta_i = \frac{\delta_{np} \cdot N_{ni}}{100}, \quad (8)$$

где δ_{np} - приведенная погрешность прибора;

N_{ni} - нормирующее значение для данного прибора (разность между верхним и нижним пределами измерений, если шкала односторонняя и полный диапазон измерения, если шкала двусторонняя).

10. Определить доверительную границу общей погрешности результата измерения ΔA в зависимости от соотношения величин Θ и $S_{\bar{x}}$. А именно:

- если $\Theta / S_{\bar{x}} < 0,8$, то величиной Θ пренебрегают и считают, что $\Delta A = \varepsilon$;
- если $\Theta / S_{\bar{x}} > 8$, то величиной ε пренебрегают, и принимают $\Delta A = \Theta$;
- если $0,8 < \Theta / S_{\bar{x}} < 8$, то доверительная граница ΔA вычисляется по формуле

$$\Delta A = \frac{\varepsilon + \Theta}{S_{\bar{x}} + (\Theta / \sqrt{3})} \cdot \sqrt{S_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{\Theta}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (9)$$

После выполнения указанных выше десяти пунктов окончательная запись результата прямого измерения имеет следующий вид

$$x = A \pm \Delta A, \quad (10)$$

где A - наиболее вероятное значение результата этого измерения ($A \approx \bar{x}$); ΔA - доверительная граница погрешности измерения.

Например, имеются результаты прямых измерений мощности шлифования, которую определяли путем измерения мощности электродвигателя привода шлифовального круга. Измерения проводили при помощи самопишущего ваттметра, который дополнительно тарировали одноименным прецизионным прибором типа Д566. Получены следующие результаты равноточных измерений (выполняемых с одинаковой тщательностью и в одинаковых условиях): 612,5 Вт, 587,5 Вт и 625,0 Вт.

При сравнительно небольшом числе наблюдений проверку соответствия опытного распределения нормальному можно выполнить аналитическим способом с помощью критерия W [2]. Расчет с помощью критерия W выполняется для выборок объемом от 3 до 50 наблюдений, т.е. при $3 \leq n \leq 50$. При этом необходимо упорядочить выборку, расположив все наблюдения x_i в неубывающем порядке: $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$. Исходные данные запишем в табл. 1.

В нижней половине третьей графы снизу вверх записываются значения j от 1 до l , причем $l = n/2$, если n четное, и $l = (n-1)/2$ при нечетном l . Для принятых данных $l = (3-1)/2 = 1$.

При соответствующих значениях n и l из книги [2] находим значения коэффициента a_{n-j+1} для j от 1 до l и записываем их снизу вверх в графе 4, а затем подсчитываем разности $(x_{n-j+1} - x_j)$, которые вносим в графу 5 табл.1. Результаты построчного перемножения содержимого граф 4 и 5 записываем в графе 6. Вычисляем характеристики φ^2 и b^2 [2]

$$\varphi^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (11)$$

Таблица 1

i	x_i , Вт	j	a_{n-j+1}	$(x_{n-j+1} - x_j)$, Вт	$(a_{n-j+1} \cdot \Delta x)$, Вт
1	2	3	4	5	6
1	587,5				
2	612,5				
3	625,0	1	0,7071	37,5	26,516

Примечание: $\Delta x = x_{n-j+1} - x_j$.

Для принятых данных $\varphi^2 = (587,5^2 + 612,5^2 + 625^2) - \frac{1}{3} \cdot (587,5 + 612,5 + 625)^2 = 729,167$.

$$b^2 = \left\{ \sum_{j=1}^l a_{n-j+1} \cdot (x_{n-j+1} - x_j) \right\}^2 \quad (12)$$

Для принятых данных $b^2 = 26,516^2 = 703,098$.

Критерий W определяется по формуле

$$W = \frac{b^2}{\varphi^2} \quad (13)$$

Для принятых данных $W = \frac{703,098}{729,167} = 0,964$.

Задавшись определенным уровнем значимости α , отображающим наибольшую вероятность ошибочности гипотезы о принадлежности данной выборки к нормальной генеральной совокупности из книги [2] находим значение W^* . При $W > W^*$ можно предполагать, что указанная гипотеза справедлива и опытное распределение не противоречит нормальному закону. При $W < W^*$ опытное распределение не соответствует нормальному закону.

Для принятых данных $W^* = 0,737$ для $\alpha = 0,05$. Так как $0,964 > 0,737$, то опытное распределение не противоречит нормальному закону. Результаты вычислений сводим в табл. 2.

Таблица 2

\bar{x} , Вт	S , Вт	V , %	$S_{\bar{x}}$, Вт	ε , Вт	Θ , Вт	$\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}}$
608,33	19,094	3,139	11,024	47,44	3,3	0,299

Примечание: $\gamma = 95\%$, $t_\gamma = 4,303$

Так как $\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} = 0,299 < 0,8$, то принимаем $\Delta A = \varepsilon$. Тогда результат технического измерения запишется в виде

$608,33 \text{ Вт} \pm 47,44 \text{ Вт}$.

Описанный способ определения точности эксперимента в зависимости от объема испытаний может быть использован в компьютерных технологиях обработки экспериментальных данных как в режиме разделения времени (off-line), так и в режиме реального времени (on-line). В первом случае способ может найти применение в технологических экспериментальных исследованиях, во втором — при управлении процессом и его технологической диагностике.

рис.2 изображены пределы изменения «комплексного показателя» для различных методов обработки. На рис.1, 2 и 3 приведены следующие технологические методы (операции):

РЧ, РТ, ТЧ, ТТ - растачивание и точение (чистовое и тонкое);

ВШЧ, ВШТ, КШЧ, КШТ, ПШЧ, ПШТ - шлифование: внутренне, круговое плоское (чистовое и тонкое);

Х, Р, СФ, П, Н, ПН - хонингование, раскатка, суперфиниш, притирка, накатка, плоская накатка;

ТФЧ, ТФТ - торцевое фрезерование (чистовое и тонкое).

После сравнения параметров C_x и ранее приведенной диаграммы $Ra-IT$, можно обнаружить частичное совпадение и подтверждение теоретических соображений А.Г.Сулова и экспериментальных данных наработанных опытом технологов - машиностроителей.

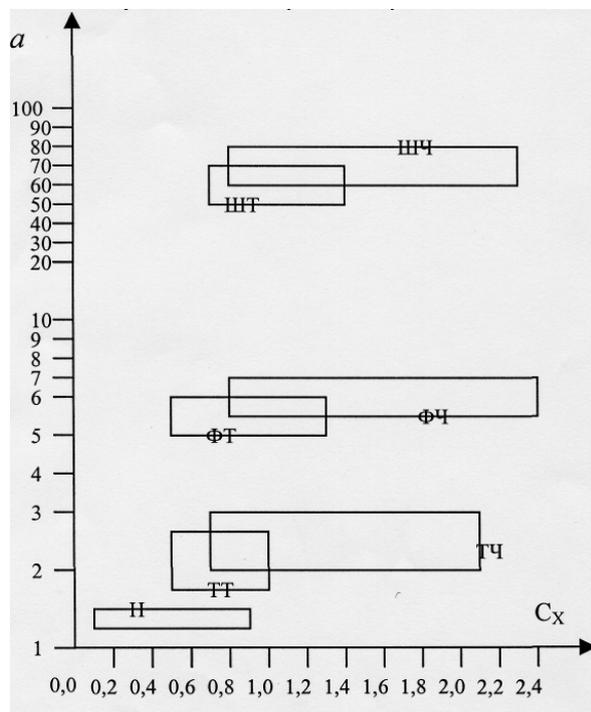


Рис.3. Области рационального применения (финишных) технологических операций $TOH=f(C_x, a)$.

Для окончательного решения о выборе технологических операций среди конкурирующих можно воспользоваться критерием технологической энергоёмкости [4,5]. Таким критерием может выступать «удельная энергоёмкость» технологической операции a (кДж/см), представленная совместно с «комплексным показателем» C_x для рассматриваемых финишных операций на рис.3.

Выбор финишных операций: тонкого растачивания, шлифования, точения и др., базирующихся на функциональных (конструкторских) требованиях, будет не достаточно полным, так как эти операции могут быть конкурирующими.

Анализ финишных операций показывает существенные преимущества фрезерования и точения (расточивания) по сравнению со шлифованием в отношении энергозатрат. Поверхность детали, образуемая лезвийным инструментом, в отличие от абразивного имеет регулярный характер. Если необходимо получить хаотический характер поверхности, то после лезвийной обработки применяют накатку, т.е. процесс микропластической обработки. Суммарная затрата энергии на лезвийную и микропластическую обработку будет, по нашему мнению, значительно ниже шлифования.

Анализ финишных операций показывает существенные преимущества фрезерования и точения (расточивания) по сравнению со шлифованием в отношении энергозатрат. Поверхность детали, образуемая лезвийным инструментом, в отличие от абразивного имеет регулярный характер. Если необходимо получить хаотический характер поверхности, то после лезвийной обработки применяют накатку, т.е. процесс микропластической обработки. Суммарная затрата энергии на лезвийную и микропластическую обработку будет, по нашему мнению, значительно ниже шлифования.

Литература

1. Справочник технолога - машиностроителя: Т.1 и Т.2 /под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. -580с., 656с.
2. Серебрянитский П.П. Краткий справочник станочника. - Л.: Лениздат, 1982.-380с.
3. Сулов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. - М.: Машиностроение, 1987. - 208с.
4. Гусарев В.С. Технологическая энергоэкономика. /Вестник инженерной академии Украины. - К.: 2001.-352-356с.
5. Гусарев В.С., Стоянова Л.С. Сравнение и выбор технологического решения на основе энергетического критерия. /Научно - технические проблемы станкостроения. - К.: 2002.-34-35с.
6. Якимов А.В. и др. Технология машиностроения: - К. - Одесса: Астропринт. 2001.-608с.

УДК 621.822:681.2:369.64

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ ЛІМІТУЮЧОГО РОЗМІРУ В СИСТЕМІ АДАПТИВНОГО ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ КАРДАННОГО РОЛИКОПІДШИПНИКА НА БОРТИКО-ШЛІФУВАЛЬНОМУ АВТОМАТІ ME 280CO

Марчук В.І., канд. техн. наук, доц., Кайдик О.Л.

(м. Луцьк, Україна)

Adaptive system of accuracy control is applied in fine grinding of needle roller bearing rings on flange grinding automatic machine ME 280CO. Based on the analysis of technological system accuracy upgrading of control system was conducted in order to ensure and stabilize quality parameters of mechanical treatment.

При дослідженні та моделюванні зв'язків конструктивно-технологічних чинників з показниками якості підшипників та їх експлуатаційними характеристиками встановлено, що одним з найважливіших показників якості та надійності роликотпідшипників є відповідність параметрів мікрогеометрії поверхневого шару робочих поверхонь встановленим вимогам та точність геометричних розмірів форми взаємного розташування поверхонь

[1].

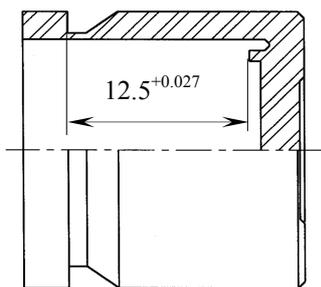


Рис. 1. Кільце карданного підшипника 704702К2.

При фінішному шліфуванні стопорної канавки кільця карданного роликотідшипника на бортико-шліфувальному автоматі моделі МС 280СО (надалі БША МС 280СО) виникає проблема забезпечення точності розміру $L=12.5^{+0.027}$ (рис. 1.) між площиною дна кільця та правим бортом канавки. Аналіз конструкції деталі, умов перебігу шліфувальної операції, кінематики верстату, системи автоматичного контролю (САК) та керування дозволив зробити висновок наступного характеру. На точність розміру $L=12.5^{+0.027}$ при обробці канавки кільця карданного роликотідшипника впливають систематичні та випадкові похибки технологічної системи, що мають місце при шліфуванні на БША МС 280СО. Для випадку суміщення кінематики різання з системою адаптивного контролю та керування при шліфуванні усі можливі похибки технологічної системи (ТС) доцільно розділити на дві групи (рис. 2.):

- кінематичні похибки, що пов'язані з кінематикою обробки;
- похибки вимірювання та керування, відзеркалюють не-

точність елементів системи контролю та керування шліфуванням.

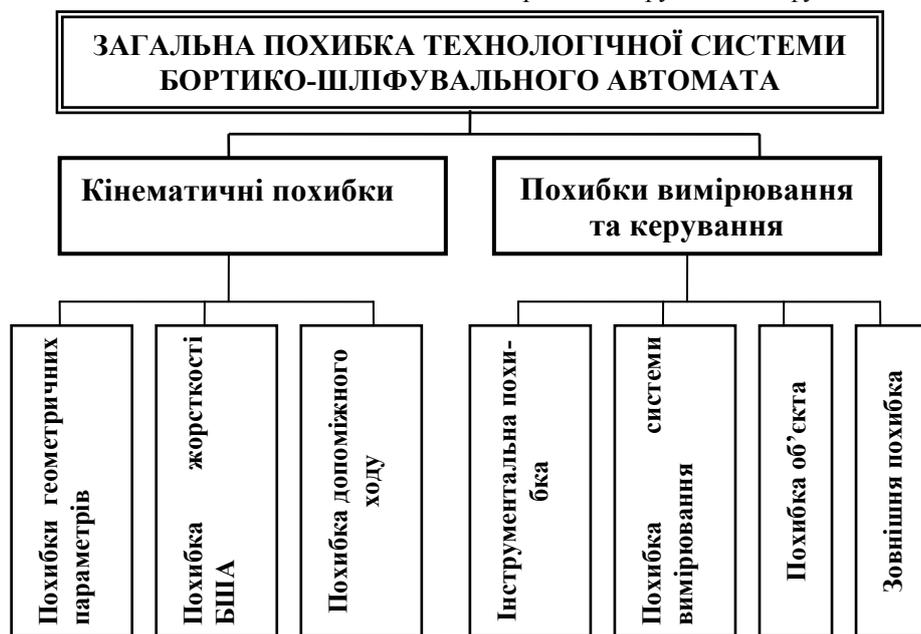


Рис. 2. Загальна похибка технологічної системи бортико-шліфувального автомата моделі МС 280СО.

Розглянемо детальніше загальну похибку технологічної системи БША.

Похибка геометричних параметрів – вона є однією з основних величин відхилення дійсних розмірів в ТС, до її слід віднести:

$\Delta l_{ршшк}$ – радіальне биття центруючої поверхні шпинделя шліфувального круга. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 4,0 мкм.);

$\Delta l_{ошшк}$ – осьове биття центруючої поверхні шпинделя шліфувального круга. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 4,0 мкм.);

$l_{рббв}$ – радіальне биття центруючої поверхні шпинделя бабки виробу. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 8,0 мкм., при $L=60\text{мм.}$);

$\Delta l_{оббв}$ – осьове биття центруючої поверхні шпинделя бабки виробу. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 4,0 мкм.);

$\Delta l_{ношк}$ – не перпендикулярність осі шпинделя шліфувального круга в напрямку переміщення шліфувальної бабки. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 30 мкм., при $L=70\text{мм.}$).

Похибка жорсткості БША – похибка деформації ТС під впливом нестабільних навантажень, які діють в системі змінної жорсткості, до її слід віднести:

$\Delta l_{ншшр}$ – відносне переміщення під навантаженням шліфувального шпинделя в радіальному напрямку. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 5,0 мкм., при $p=0,1...0,5$ кН.);

$\Delta l_{ншшо}$ – відносне переміщення під навантаженням шліфувального шпинделя в осьовому напрямку. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 2,0 мкм., при $p=0,1...0,5$ кН.);

$\Delta l_{впбр}$ – відносне переміщення під навантаженням шпинделя бабки виробу в радіальному напрямку. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 5,0 мкм., при $p=0,1...0,5$ кН., $L=20\text{мм.}$);

$\Delta l_{впбо}$ – відносне переміщення під навантаженням шпинделя бабки виробу в осьовому напрямку. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – до 30,0 мкм., при $p=0,1...0,5$ кН.);

$\Delta l_{вппс}$ – відносне переміщення плити та салазок. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата – горизонтальна площа: 5,0 мкм., при $p=0,1...0,6$ кН.; вертикальна площа: 8,0 мкм., при $p=0,1...0,4$ кН.).

До похибки допоміжного ходу – коливання не контактуючих елементів ТС, слід віднести:

$\Delta l_{кшббв}$ – коливання шліфувальної бабки відносно бабки виробу. (Допуск на відхилення згідно ТУ верстата: 1,6 мкм.)

Інструментальна похибка (Δl_i) – похибка виготовлення та юстування приладу активного контролю, а також невідосконаленість його принципової схеми.

Похибка системи вимірювання ($\Delta l_{св}$) – похибка вибраної для вимірювання схеми, базування і умов прове-

дення замірів, які не дозволяють обмежити вплив відомих осередків похибок.

Похибка об'єкта (ΔI_0) – похибка спричинена технічною характеристикою засобу вимірювання.

Зовнішня похибка (ΔI_3) – виникає під впливом зовнішнього середовища, залежить в основному від дії робочого середовища та температури осередку.

Використовуючи методику [3] запишемо значення сумарної похибки кінематичної системи:

$$\Delta_K = \sqrt{(\Delta I_{РБВВ} + \Delta I_{ВПБР})^2 + (\Delta I_{ОБВВ} + \Delta I_{ВПБО})^2 + \Delta I_{ВПКСГ} -} \\ - \sqrt{(\Delta I_{РШШК} + \Delta I_{НШШР})^2 + (\Delta I_{ОШШК} + \Delta I_{НШШО})^2 + \Delta I_{НОШК} + \Delta I_{ВПКСВ} - \Delta I_{КШБВВ}} \quad (1)$$

Похибка системи контролю та керування має вигляд:

$$\Delta_{СКК} = \sqrt{\Delta I_1^2 + \Delta I_{СВ}^2 + \Delta I_0^2 + \Delta I_3^2} \quad (2)$$

Очевидно, що загальна похибка обробки та керування шліфуванням на БША МЕ 280СО буде рівною (в окремих випадках враховуються і векторні суми похибок):

$$\Delta_{БША} = \Delta_K + \Delta_{СКК} \quad (3)$$

Похибка кінематичної системи в загальному вигляді залежить від жорсткості окремих елементів усієї системи і при виконанні технологічних операцій не підлягає коректуванню.

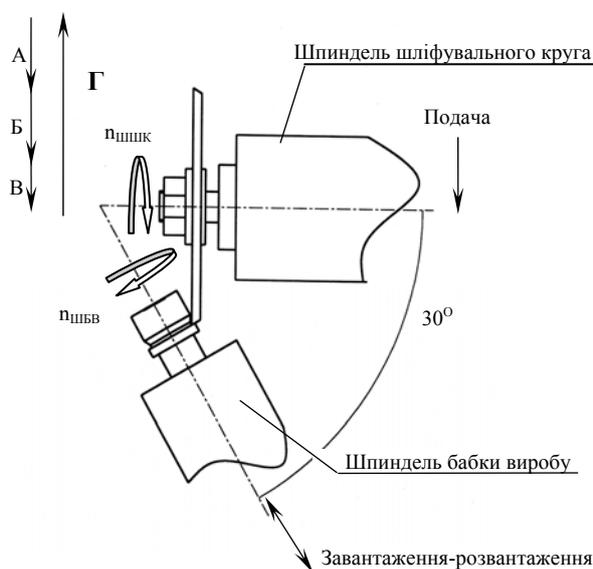


Рис. 3. Технологічна схема шліфування канавки кільця карданного підшипника.

- А – швидкісний підвід інструмента до зони шліфування;
- Б – робоча подача інструмента (чорнове врізне шліфування);
- В – сповільнена подача інструмента – режим чистового шліфування;
- Г – швидке відведення в початкове положення

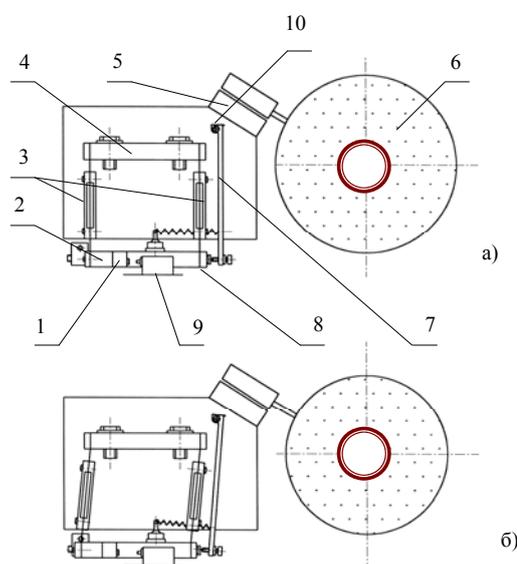


Рис. 4. Схема пристрою адаптивного контролю та керування шліфуванням:

а) - до правки круга; б) – після правки.

- 1 - Гвинт-заслонка; 2 - Каретка; 3 – Пластинчаті пружини; 4 - Плита; 5 - Система алмазного вирівнювання; 6 - Шліфувальний круг; 7 - Ричаг правки; 8 - Пружина; 9 - Вимірююче сопло; 10 – Вісь механізму вирівнювання круга.

Конструкторсько-технологічною особливістю системи адаптивного керування є те, що утворований розмір контролюється положенням осі шпинделя шліфувального круга, а зміна діаметра круга після чергового його вирівнювання віддзеркалюється пристроєм адаптації (рис. 4.), тобто похибка вимірювання залежить від похибки налагодження.

Пристрій складається з нерухомої плити 4, яка закріплена на станині БША та рухомої каретки 2 кінематично зв'язаної через важіль 7 з віссю 10 механізму рівняння круга 5. Нерухома плита 4 з'єднана з рухомою кареткою 2 за допомогою пластинчатих пружин 3, що утворюють плоско-пружинний паралелограм адаптивної системи. Зменшення діаметра круга 6 при черговому вирівнюванні супроводжується переміщенням нижньої каретки 2 через важіль 7 (рис. 4.) вліво і тим самим змінюється розміщення заслонки 1. Пневмоелектрична система контролю та керування відносно вимірювального сопла 9 кінематично зв'язана з механізмом робочої подачі інструмента вирівнювання 6.

Зміна положення каретки 2 після декількох вирівнювань шліфувального круга показана на рис. 4 б).

Проведені дослідження на робочих місцях, з метою зменшення похибок розміру виготовленої деталі, після фінішної алмазно-абразивної обробки корпусів карданних кілець серії 704702K2 на БША МЕ 280СО ВАТ “Луцький підшипниковий завод” показали, що основним напрямком підвищення точності лімітуючого розміру

– є зменшення похибки вимірювання шляхом зміни, менш точної, пневмоелектричної системи контролю шліфування на електронну систему з використанням індуктивних перетворювачів [2].

Суть проведеної модернізації полягає в заміні вимірювального пневматичного сопла 9 (рис. 4.) на індуктивний давач, який за допомогою електронного блоку подає диференційований та підсилений сигнал на систему керування БША. Як показали дослідження дана заміна системи дала змогу зменшити загальну похибку. Так при вимірюванні пневмоелектричною системою похибка вимірювання і керування складала $\Delta_{\text{ПЕС}}=0,015$ мм., при чому її величина змінювалась в широких межах під дією випадкових чинників, наприклад, від попадання абразивних частинок та мастильно-охолоджуючих матеріалів. Похибка індуктивного перетворювача на порядок менша і виключає можливість небажаної дії чинників виробничого середовища, завдяки чому підвищується стабільність технологічного процесу.

Електронна система активного контролю випробувана та введена на ВАТ «ЛПЗ» і дала змогу зменшити кількість, можливих, систематичних та випадкових похибок у наслідок чого скоротився брак виготовлених деталей з 30-33% до 8-11% за зміну. Економічний ефект від впровадження склав понад 60 тис. грн. за рік.

Література

1. Марчук В.І. «Модельовання зв'язків технологічних факторів з параметрами якості поверхонь деталей підшипників в умовах гнучких виробничих систем»: Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 9-15 сентября 2002 г. В 3-х томах – Донецк: ДонНТУ, 2002. Т. 2. – с.89-94.
2. В.І. Марчук, В.Т. Михалевич, В.В. Красовський «Дослідження характеристик індуктивного перетворювача лінійних переміщень»: Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Материалы междунар. науч.-техн. конф., 20-24 мая 2002г. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – с. 145-148.
3. П.А. Кораблев «Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении», - М.: МАШГИЗ, 1962г. – 258с.

УДК 621.924.6.088.8

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРУЖИННО-ПЛАСТИНЧАТЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ЗУБОРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Настасенко В.А., канд. техн. наук, доц.

(г. Херсон, Украина)

The paper presented suggests technical and economic substantiation of the preference of spring-plate hobs sheaving and abrasive cutters equipped on the basis of the concept of improving worm tooth cutting tools suggested by the author earlier and the experience gained.

В настоящее время разработана новая концепция совершенствования червячных зуборезных инструментов, получившая международное признание [1-3], на базе которой созданы ряд принципиально новых конструкций червячных фрез, шеверов и шлифовальных кругов, а также способов и оборудования для их изготовления, защищенных патентами Российской Федерации №№ 2124421, 2134183, 2134184, 2147495, 2147496, 2169061, 2200262.

Для предлагаемых червячных фрез главными особенностями конструкций являются применение увеличенного количества заходов (от 3 до 9) и большого количества многогранных неперетачиваемых режущих пластин, в том числе – из твердых сплавов и СТМ (рис.1..5).

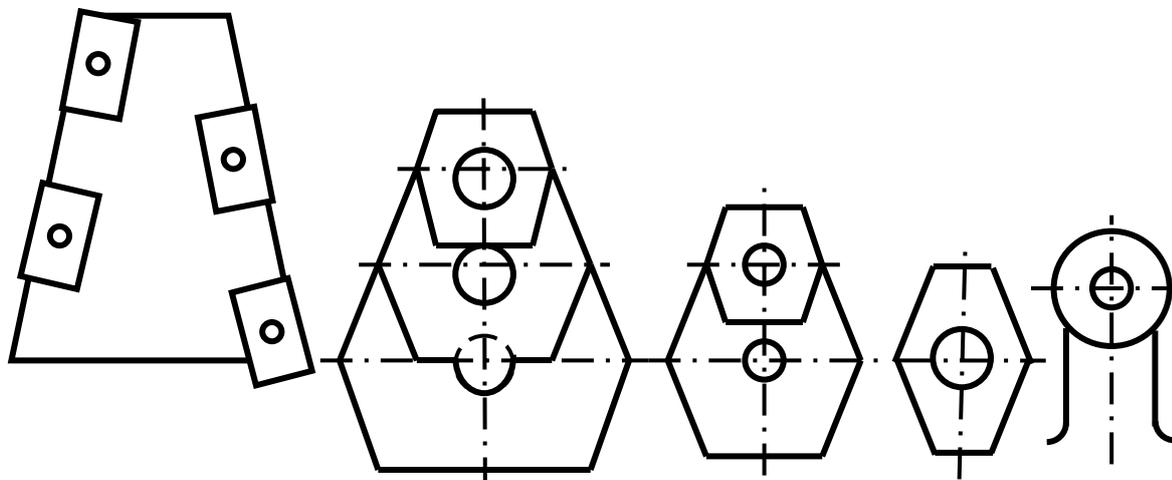


Рис.1.

Рис.2.

Рис.3.

Рис.4.

Рис.5.

Особенностью исполнений червячных фрез на рис. 4 и 5, является возможность нанизывания пластин 1 и клиновых вставок 2 между ними на пружины 3 (рис.6), с последующим зажимом их в канавках корпуса инструмента 4, что

позволяет увеличить количество многогранных неперетачиваемых режущих пластин до 120 на виток и до 500 на фрезу. Совокупность приведенных факторов делает предлагаемые фрезы наиболее перспективными на ближайших 20-30 лет, т.к. по производительности они не уступают зубопротягиванию [4], а применяемое при этом оборудование остается зубофрезерным – наиболее распространенным и относительно дешевым в изготовлении и эксплуатации.

При этом у таких фрез обеспечивается ряд других существенных преимуществ, по сравнению с известными фрезами:

1. Отсутствие затылования и заточки при изготовлении, что исключает затраты на выполнение данных операций, требуемый для этого обслуживающий персонал, рабочие площади, оборудование, инструменты 2-го порядка и др., и позволяет изготавливать данный инструмент вне специализированных заводов.

2. Исключение погрешностей, связанных с выполнением процессов затылования и заточки, и с проектированием и изготовлением инструментов 2-го порядка, а также с изменением их размеров и условий огибания при изготовлении инструментов 1-го порядка.

3. Исключение переточек инструментов 1-го порядка при эксплуатации, что устраняет затраты на выполнения данной операции, требуемый для нее обслуживающий персонал, рабочие площади, оборудование, инструменты 2-го порядка и др.

4. Исключение погрешностей, связанных с выполнением процесса переточек, а также с изменением размеров инструментов 1-го порядка и условий огибания при переточках, правках и в процессе эксплуатации.

5. Возможность использования не одной пары (как у базовых), а 4-8 пар режущих кромок, что адекватно повышает стойкость инструмента и сокращает расход пластин.

6. Возможность выполнения оптимальных передних и задних углов, в т.ч. на боковых режущих кромках, что улучшает условия резания, качество обработки, повышает стойкость, технологичность, экономичность и эргономичность изготовления и эксплуатации инструмента.

7. Наличие покрытия на всех режущих кромках (снимаемого при переточках у базовых фрез), что в 1,4...1,6 раза увеличивает стойкость между переточками.

8. Возможность увеличения режущих лезвий до 120 на виток и до 500 на фрезу, что резко повышает объемы удаляемого из межзубных впадин металла, одновременно на 1...2 класса улучшает качество формирования зубьев изделий (особенно при многозаходной обработке) и в 5...10 раз повышает стойкость червячных инструментов, (что служит резервом для повышения производительности и резко повышает экономические показатели зубообработки).

Однако стоимость таких фрез существенно повышается, что требует дополнительного анализа их эффективности и поиска путей снижения их стоимости.

Известно, что в странах СНГ цельные быстрорежущие фрезы, в зависимости от класса точности, имеют стоимость от 100 до 200 \$ на модуль m (100...200 \$ • m), цельные твердосплавные - 300...400 \$ • m , а сборные – 500...1000 \$ • m . Таким образом, по сравнению с быстрорежущими фрезами, 3-х...5-ти кратное повышение стоимости является главным ограничивающим фактором, сдерживающим широкое применение известных твердосплавных фрез. Поэтому чаще всего их используют под влиянием других ограничивающих факторов – для обработки закаленных зубчатых колес или для обработки многозубых венцов, где стойкость быстрорежущих сталей не обеспечивает требуемой длины резания или производительности. В остальных случаях применение червячных фрез из твердого сплава и СТВ чаще всего экономически нецелесообразно. В этих рамках возможность многократного использования корпуса и замены только режущих пластин у предлагаемых фрез [1-4] является существенным преимуществом, повышающим их экономичность и конкурентоспособность по сравнению с любыми другими видами зуборезных инструментов. Однако очень большое количество пластин (360...500) резко увеличивает долю затрат, связанных с их изготовлением, что требует первоочередного снижения их себестоимости. При этом исходными факторами для определения ориентировочной стоимости фрез и пластин, являются экономические показатели, достигаемые при их эксплуатации у потребителя. Для сравнения рассмотрим эквивалентность предлагаемых фрез и базовых твердосплавных, а затем – быстрорежущих.

Наиболее простыми из предлагаемых червячных инструментов [1-4] являются фрезы модуля m от 2,5 до 6 мм, для которых возможно применение 1 пластины на зуб (рис.4). В этом случае пластины обеспечивают возможность 4-х переустановок и, при нанесении износостойких покрытий, каждый раз резание осуществляется с покрытием как на задней, так и на передней режущих кромках зубьев, что дает повышение стойкости между переточками в 1,4...1,6 раза по сравнению с перетачиваемыми фрезами. Таким образом, эквивалентность 4-х переустановок пластин к количеству переточек составляет:

$$k_{\text{экв.}} = 1 + 3(1,4...1,6) \approx 5...6 \text{ (переточек)}.$$

При общем количестве возможных переточек базовых твердосплавных фрез ≈ 10 , эквивалентность предлагаемых фрез составит:

$$K_{\text{экв.}} = (5...6)/10 = 0,5...0,6 \text{ (раз)}.$$

Поскольку предлагаемые фрезы позволяют увеличить количество зубьев на виток от 70 до 120, по сравнению с базовыми 10...12, это уменьшает толщину срезаемого слоя в n_a раз:

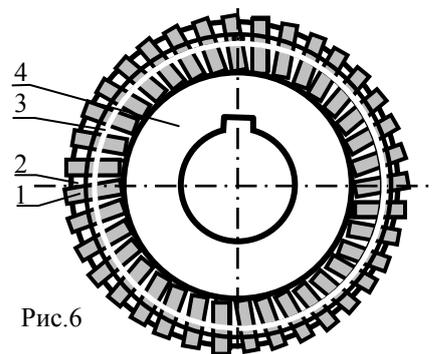


Рис.6

$$n_a = (70...120)/(12...10) = 5,8...12 \text{ раз,}$$

что в рамках влияния толщины срезаемого слоя на стойкость фрезы, оцениваемого показателем степени $x = 0,7$ [4], обеспечивает повышение стойкости n_T до переустановки пластин:

$$n_T = n_a^x = (5,8...12)^{0,7} = 3,4...5,7 \text{ (раз).}$$

Таким образом, общая эквивалентность предлагаемых фрез составляет:

$$\sum K = K_{экв.} n_T = (0,5...0,6)(3,4...5,7) = 1,7...3,4 \text{ (раза),}$$

что указывает на их преимущество в суммарной стойкости уже не только по сравнению с фрезами из быстрорежущих сталей, но и с аналогичными цельными фрезами из твердых сплавов. Если учесть, что на сменных неперетачиваемых пластинах можно обеспечить оптимальную для резания геометрию и форму режущих кромок, сложно достигаемую у других фрез, то приведенное повышение суммарной стойкости возрастает еще в 1,5...2 раза.

Поскольку расход пластин в предлагаемых фрезах в 1,7...3,4 раза меньше расхода аналогичных твердосплавных фрез, то при стоимости комплекта пластин, равной стоимости базовых фрез и стоимости многократно используемого корпуса в 0,3...0,5 стоимости базовых фрез, обеспечивается сокращение расходов на их приобретение. Следует учесть, что исключение процесса 10...12 переточек и требуемых для этого затрат и оборудования, заменяемых 3-мя переустановками пластин, а также возврат твердого сплава изношенных пластин, дополнительно сокращают затраты, поэтому суммарная экономическая эффективность предлагаемых фрез значительно повышается.

При замене быстрорежущих червячных фрез стоимостью ≈ 300 \$ каждая, даже при увеличении стоимости предлагаемых фрез до 3 тыс. \$ за штуку и комплекта пластин до 2 тыс. \$, экономический эффект для потребителя составляет:

1. При закупке – от 5 до 8 тыс. \$ за счет сокращения расходов на инструмент, поскольку 2 корпуса и 10 комплектов пластин, общей стоимостью порядка 22 тыс. \$, заменяют до 100 стандартных фрез, общей стоимостью около 30 тыс. \$.

2. При эксплуатации – от 10 до 20 тыс. \$ за счет исключения переточек фрез и связанных с ними затрат, а также за счет повышения качества и производительности обработки зубчатых колес.

Накопленный опыт изготовления предлагаемых фрез показал, что в условиях индивидуального и мелкосерийного производства трудоемкость изготовления 1 пластины с точностью ≈ 5 мкм, составляет от 6 до 12 нормочасов, поэтому при высокой стоимости нормочаса, например, у зарубежных фирм, их фрезы нового типа становятся неконкурентоспособными, по сравнению с изготавливаемыми в СНГ. Указанные факторы позволяют предположить успешность конкуренции отечественных производителей с зарубежными, (если будет решена проблема повышения точности и производительности изготовления корпусов фрез и пластин), что раскрывает широкие возможности для собственного производства.

Следует учесть, что по вариантам, показанным на рис. 4 и 5, точность инструмента зависит только от точности изготовления пластин и корпуса, поэтому, кроме червячных фрез возможно также исполнение червячных шевров, а при замене витков из пластин и клиновых вставок пружинами с нанесенным на них абразивным слоем, возможно также изготовление червячных абразивных или алмазных кругов (патент РФ № 2134183), что расширяет возможности чистовой обработки зубчатых колес вплоть до 3-й и более высокой степеней точности.

Для предлагаемых червячных инструментов, выполненных по схеме на рис.5, при обработке незакаленных зубчатых колес возможна замена режущих инструментов на деформирующие (рис.7). При этом режущие пластины заменяются деформирующими шариками 1, удерживаемыми клиновыми вставками 2 с помощью пружин 3 на корпусе инструмента 4. Подобный вид инструментов предлагается впервые.

Конструкторско-технологическим коллективом малого предприятия «Фирма ЧС» (Украина, 73000, г. Херсон, а./я 141) успешно решены проблемы конструирования и изготовления предлагаемых червячных инструментов, что позволило создать базу на отечественных заводах и приступить к их изготовлению в рамках указанной выше ориентировочной стоимости корпусов и пластин. Минимальная партия для заказа – 1 корпус и 5 комплектов пластин на сумму от 10 тыс. \$, что позволяет получить экономический эффект у потребителя до 10 тыс. \$. Совокупность приведенных факторов обеспечивает широкие возможности для успешного применения предлагаемых пружинно-пластинчатых червячных зуборезных инструментов во всех случаях обработки зубчатых колес, в том числе - высокоточных.

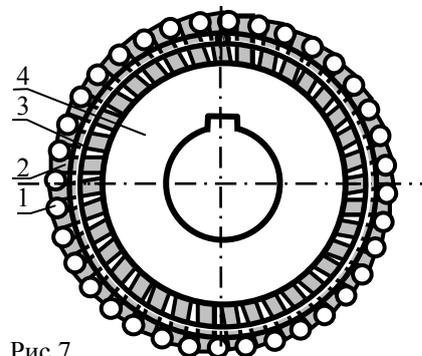


Рис. 7

Литература

1. Nastasenko V.A. Development of perspective designs of worm teeth cutting tools and methods of their designing. //4th World Congress on Gearing and Power Transmission. – Paris, France: M.C.I. 1999. T1. p.507-514.
2. Настасенко В.А. Червячные фрезы нового вида и их САПР //Вестник машиностроения. 2000. № 8, с.28-32.

3. Настасенко В.А. Пятое поколение червячных фрез и его характеристики // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 6-й Междунар. науч.-техн. конф. –Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2002 г. –с. 133-136.
4. Настасенко В.А. Зубонарезание многозаходными червячными фрезами как альтернатива зубопротягиванию. //СТИН. 2001. №1. –с27-31.

УДК 681.3(03)

ПОИСК И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ БУДУЩЕГО

Настасенко В.А., канд. техн. наук, доц., Настасенко Е.В.

(г. Херсон, Украина)

On the basis of waves lengths and frequencies of Planks level are proved limiting opportunities of speed and memory of personal computers. It is shown, that their achievement by traditional way will demand the big expenses and proposed non-conventional way connected to vibrations macromolecule DNA is offered. For the proof of an opportunity of such vibrations are developed to line of physical and mathematical models.

В ранее выполненной авторами работе [1] показано, что предельные возможности быстродействия и памяти компьютеров обеспечиваются при достижении рабочих слоев планковского уровня, имеющих предельно возможную в рамках нашей Вселенной толщину:

$$l_p = \sqrt{\hbar G/c^3} = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ м}, \quad (1)$$

которая получена из трех основополагающих мировых физических констант: круговой постоянной Планка $\hbar = 1,05457266 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, гравитационной постоянной $G = 6,67259 \cdot 10^{-11}$ м³/(кг·с²), скорости света в вакууме $c = 0,299792458 \cdot 10^9$ м/с [2]. Дальнейшая дифференциация длины l_p (например, до 10^{-36} м) невозможна, т.к. она ограничена константами \hbar , G , c и законом (1), и не может быть получена произвольно до тех пор, пока не будут найдены новые константы и новый закон. Учитывая, что константы \hbar , G , c во Вселенной неизменны с первых секунд ее рождения (подтверждается это сравнением света от дальних звезд, возникшего многие миллиарды лет назад и дошедшего к нам лишь сейчас, с параметрами лучей света от ближних звезд), и только закон (1) из этих констант дает единицу длины – метр, поэтому есть все основания утверждать, что планковская длина является предельно возможной величиной длины в реально существующей Вселенной.

В работе [1] также показано, что в рамках двойственности существования материи в виде вещества и поля, все параметры планковского слоя связаны с вибрациями гравитационного поля и поддерживаются им, при этом предельная тактовая частота вибраций компьютера ν ограничена планковским временем:

$$t_p = \sqrt{\hbar G/c^5} = 5,39056 \cdot 10^{-44} \text{ с}, \quad (2)$$

и связана с вибрациями гравитационного поля зависимостью:

$$\nu = T^{-1} = 1/t_p = 1/5,39056 \cdot 10^{-44} \text{ (с)} = 0,1855095 \cdot 10^{44} \text{ Гц}, \quad (3)$$

при этом амплитуда колебаний A и длина несущих волн λ связаны с планковской длиной l_p и составляют

$$A = l_p = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ м}, \quad (3)$$

$$\lambda = c/\nu = 0,299792458 \cdot 10^9 \text{ (м/с)} / 0,1855095 \cdot 10^{44} \text{ (Гц)} = 1,61605 \cdot 10^{-35} \text{ (м)}. \quad (4)$$

Поскольку планковское время t_p (2) также является величиной, полученной из 3-х фундаментальных физических констант \hbar , G , c , то оно предельно возможное во Вселенной и недифференцируемое дальше. Поэтому считывание и распознавание информации, как и выполнение операций, за более короткое время невозможно. Например, при параллельном разделении информационных потоков, очень большой объем памяти (в толщине электрона укладывается $\approx 10^{20}$ планковских слоев) позволяет, в рамках двоичных компьютерных систем, каждому из возможных слов, символов

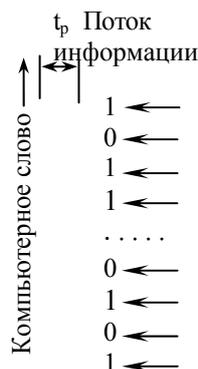


Рис. 1. Параллельная запись и считывание.



Рис. 2. Традиционная запись и считывание 1 байта информации в ПК.

или знаков, присвоить свой собственный цифровой код, но их считывание и другие операции все равно будут ограничены планковским временем $t_p = 5,39056 \cdot 10^{-44}$ с, что подтверждает предельность тактовой частоты для ПК: $\nu = 0,1855095 \cdot 10^{44}$ Гц (рис.1). Однако неудобство подобного представления информации в том, что каждому слову необходимо присваивать, а затем распознавать свой цифровой код (например, слово “персональный” в таком словаре может значиться под №123456, а “компьютер” – под № 98765, которые и будут являться их собственным распознающим кодом), что усложняет выполнение компьютерных опе-

раций. Поэтому более предпочтительным является традиционное компьютерное представление информации в байтах (рис.2), что увеличивает время действия – суммой времен t_p на считывание и преобразование 1 бита информации и соответственно уменьшает предельное быстродействие ПК по сравнению с ранее определенным $t_p = 5,39056 \cdot 10^{-44}$ с. Носителем 1 бита информации в гравитационном поле является вещественная частица – гравитон, имеющая способность к намагничиванию и размагничиванию, в электромагнитном – фотон.

Исходя из единства гравитационного и электромагнитного полей, доказанного в работе [3], на планковском уровне гравитационное поле имеет одинаковые параметры с постоянным электрическим и постоянным магнитным полями, что подтверждается как экспериментально – явлением взлета и парения кольцевого сверхпроводника при возбуждении в нем постоянного электрического тока, так и теоретически – из закона объединения 3-х фундаментальных физических констант:

$$\hbar G = c^3 l_p^2. \quad (5)$$

Совокупность приведенных экспериментальных и теоретических данных указывает на возможный путь достижения параметров гравитационного поля через постоянное электромагнитное поле с адекватными ему параметрами ν , λ , A , которое можно реализовать в ПК.

Однако современные возможности ПК составляют лишь величины $\nu \approx 10^{10}$ Гц и $\lambda \approx 10^{-8}$ м, и дальнейший рост этих показателей (составляющий в настоящее время 15-20% в год), ограничен толщиной кристаллического слоя в микросхемах. Последний факт указывает, что в нынешних пленочных микросхемах памяти используется принципиально иные, чем потребуются в будущем, методы реализации. Поэтому, для достижения предельных возможностей ПК, необходим поиск принципиально новых систем и подходов, обеспечивающих вибрации планковского уровня, что является главной целью предлагаемой работы.

Анализ современных технических систем для получения сверхвысоких частот показал, что частота $\nu = 0,1855095 \cdot 10^{44}$ Гц пока еще недоступна для практической реализации. Теоретически наиболее близкую к ней частоту могут иметь лишь элементарные частицы высоких энергий, однако при этом, исходя из закона де Бройля (6), их энергии должны быть очень большими:

$$E = \hbar \nu = 1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 0,1855095 \cdot 10^{44} (\text{Гц}) = 1,957187 \cdot 10^9 (\text{Дж}). \quad (6)$$

Поскольку реально достижимые на современном уровне энергии и частоты элементарных частиц на много порядков ниже требуемых, поэтому выход к установленным параметрам (3-6), при нынешних темпах роста частот и используемых энергий, можно отнести к очень далекому будущему, если не будет найден принципиально новый подход. Таким образом, поставленная в данной работе цель – поиск принципиально нового подхода, является корректной и важной для развития вычислительной техники в целом.

При решении данной задачи учитывали, что для планковского уровня, как и для других объектов и систем, действующих по законам квантовой механики, характерен принцип двойственности, чаще всего называемый “туннельным переходом” – когда достижение результата осуществляется при более низких, чем в прямом действии, энергетических затратах. Пояснение принципа двойственности в известных технических системах могут дать следующие примеры: 1) применение электродвигателя – генератора, 2) двигателя внутреннего сгорания – компрессора, 3) бинокля (с одной стороны приближает видимые объекты, с другой – удаляет) и других им подобных технических объектов [4]. Для природных систем принцип двойственности характеризуется простейшими примерами, типа антонимов: свет – тьма, тепло – холод и др. На основе двойственности практически всех природных систем, можно предположить, что кроме энергетически высокзатратного способа получения сверхвысоких частот (6), может существовать низкозатратный, адекватный туннельному переходу в квантовой механике. Поэтому поставленная в данной работе цель – поиск принципиально нового подхода при создании вибраций планковского уровня, является верной, исходя из “туннельных переходов” в квантовой механике и единственно возможной, исходя из законов природы – в частности – принципа наименьшего действия.

Учитывая, что в рамках известных технических систем генераторы частот $\nu = 0,1855095 \cdot 10^{44}$ Гц не были найдены, дальнейший поиск авторами осуществлялся в нетрадиционных областях. Такими системами, на наш взгляд, могут быть биологические, в частности – связанные с макромолекулами ДНК клеток мозга, в которых макромолекулы ДНК наиболее подвижны. Для подтверждения сделанного вывода предлагается следующее обоснование, вытекающее из ряда экспериментов, схемы которых приведены на рис.3 а,б,в,г:

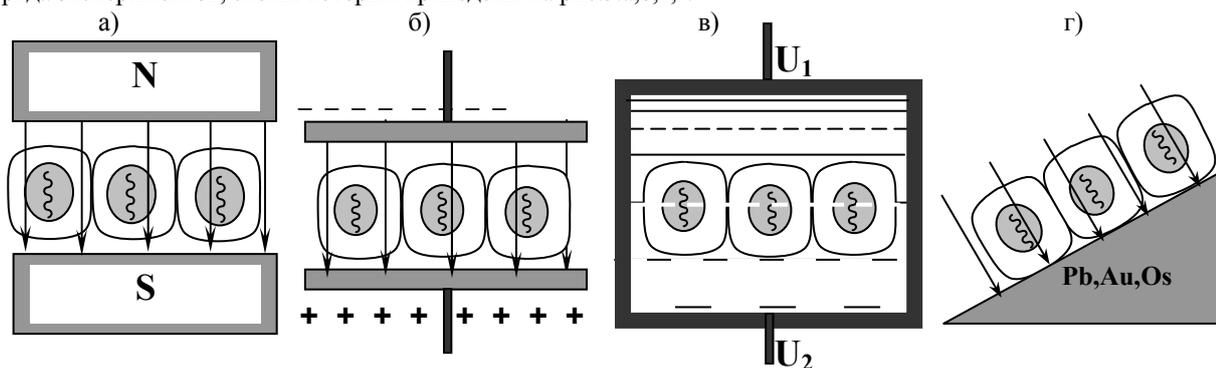


Рис.3. Взаимодействие макромолекул ДНК клеток мозга с магнитным (а), электрическим (б), электромагнитным (в) и гравитационным (г) полями.

Поскольку на планковском уровне гравитационное и электромагнитное поля едины, в первом опыте вытяжку из нормально функционирующих (живых) клеток мозга помещают в магнитное поле (рис.3.а), созданное постоянным магнитом N-S. При этом макромолекулы ДНК рассматривают под микроскопом в начале эксперимента, а затем – через 20-30 минут, за которые первоначально хаотично ориентированные макромолекулы ДНК обретают строго ориентированное положение вдоль силовых линий магнитного поля.

Во втором опыте вытяжку из живых клеток мозга помещают в электростатическое поле (рис.3.б), созданное, например, между пластинами конденсатора, а макромолекулы ДНК рассматривают под микроскопом в начале эксперимента и через 20-30 минут, за которое они успевают переориентироваться вдоль силовых линий электрического поля.

В третьем опыте вытяжку из живых клеток мозга помещают в электромагнитное поле (рис.3.в), созданное в сосуде с электролитом при действии постоянного тока с разностью потенциалов U_1 и U_2 , что через 20-30 минут ориентирует макромолекулы ДНК в направлении действия электрического тока.

В четвертом опыте вытяжку из живых клеток мозга помещают в гравитационное поле (рис.3.г), созданное большой массой вещества высокой плотности, например Pb, Au, Os , что изменяет силовые линии их гравитационного поля от силовых линий гравитационного поля Земли, адекватно отклоняя ориентацию макромолекул ДНК.

Изменение ориентации макромолекул ДНК в приведенных экспериментах указывает на их взаимодействие с электромагнитным и гравитационным полями, что дает возможность для последующей технической реализации этой связи, основанной на следующих исходных положениях:

1. Поскольку макромолекулы ДНК представляют собой спирали, с соотношением длины к толщине $\approx 100000/1$, которые имеют около 10 тыс. витков, поэтому они являются очень гибкими и чувствительными элементами к различным поперечным, продольным и крутильным колебаниям (вибрациям).

2. Если спираль макромолекулы ДНК в поперечном направлении будет вибрировать с амплитудой $A \approx 10^{-8}$ м (это параметры волн, которые формируются при химическом преобразовании молекул или при воздействии волн светового диапазона), то ее концы, по экспоненциальному закону, начнут вибрировать в продольном направлении с очень малой амплитудой, которая за счет скручивания витков макромолекулы может достичь величины $A \approx 10^{-35}$ м, что сводит вибрации к волновым параметрам, идентичным параметрам λ, A, ν волн гравитационного поля. Косвенно о такой возможности уменьшения длины волны могут свидетельствовать явления, возникающие при ударе хлыста. При этом энергетические затраты на формирование нужных вибраций могут быть минимальными.

Таким образом, приведенное обоснование показывает, что выход на биокомпьютерные технологии представляется вполне реальным и требуется его исследование и разработка. Однако для этого необходимо дополнительное подтверждение данных возможностей, которым может быть моделирование подобных процессов. С этой целью в данной работе предусматривается физико-математическое моделирование возможных вибраций в макромолекуле ДНК. Если разработанные модели обеспечат возможность выхода к планковскому уровню вибраций с амплитудой $A \approx 10^{-35}$ м, то создание подобных систем можно считать в принципе возможным.

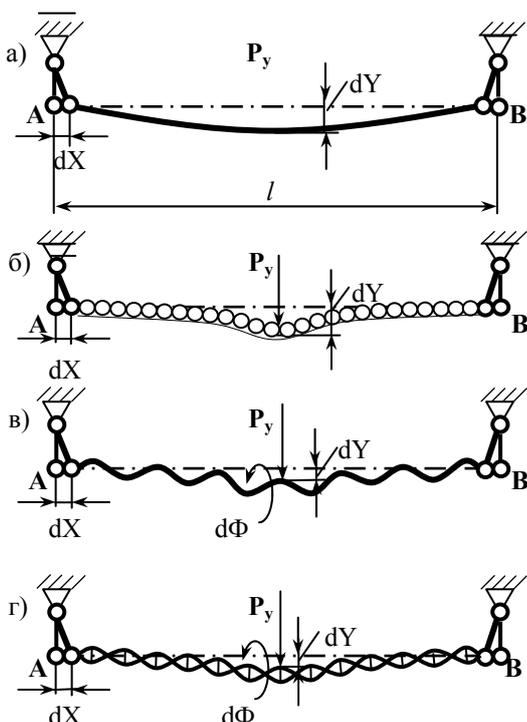


Рис.4. Основные модели деформаций макромолекулы ДНК.

На первом этапе макромолекулу ДНК можно представить в виде простейшей физической модели – жесткой балки с подвижными опорами (рис.4.а), которая нагружена в средней части поперечной силой P_y . Математическая модель данной системы будет предусматривать простейшую связь между стрелой прогиба $dY \approx 10^{-9}$ м и продольным перемещением dX концов балки-макромолекулы ДНК жесткостью μ , длиной l и сечением s :

$$dX = \int F(\mu, l, s) dY, \tag{7}$$

где $F(\mu, l, s)$ – функция, учитывающая параметры балки.

На втором этапе (рис.4.б) балку-макромолекулу ДНК можно представить в виде суммы из n нежестко связанных взаимодействующих между собой отдельных молекул:

$$dX = \int \int F(l, \eta, n) d\eta dY, \tag{8}$$

где $F(l, \eta, n)$ – функция, учитывающая жесткость $d\eta$ связи отдельных элементов балки-макромолекулы при их сдвиге.

На третьем этапе (рис.4.в) подвижные элементы в макромолекуле ДНК можно представить размещенными на спирали, имеющей винтовой параметр $d\Phi$:

$$dX = \int \int \int F(l, \eta, n, \phi) d\eta d\phi dY, \tag{9}$$

где $F(l, \eta, n, \phi)$ – функция, учитывающая жесткость связи отдельных элементов балки при их сдвиге и повороте.

На четвертом этапе (рис.4.г) балку-макромолекулу ДНК можно представить в виде ленты, состоящей из 2-х спиралей, соединенных перемычками, что повышает ее жесткость в поперечном направлении dZ плоскости ленты:

$$dX = \iiint F(l, \eta, n, \varphi, z) d\eta d\varphi dz dY, \quad (10)$$

где $F(l, \eta, n, \varphi, z)$ - функция жесткости при сдвиге, повороте и скручивании отдельных элементов макромолекулы ДНК.

Учитывая сложность разрабатываемых моделей, такое поэтапное решение задачи является наиболее целесообразным. Если они приведут к возможности воспроизведения вибраций планковского уровня, то будет целесообразным переход к более точным моделям, основанным на реальных макромолекулах ДНК, (такая возможность появилась в результате расшифровки их генетического кода и всех входящих в ДНК молекул, сообщение о которой было сделано в открытой печати в 2001 году). Однако в настоящее время решение такой задачи затруднено как по техническим причинам (из-за сложности окончательной модели), так и по финансовым (из-за высокой стоимости информации о расшифровке макромолекулы ДНК).

Следует также учесть, что при создании компьютеров с максимально возможным быстродействием, большое значение будет иметь время воспроизведения информации на экране монитора и последующего ее восприятия пользователем. В этом случае, более совершенного варианта, чем передача информации прямо в мозг человека и более совершенного устройства, чем мозг человека с триллионами клеток, представить пока трудно, что определяет возможный дальнейший путь создания персональных компьютеров и компьютерных систем для индивидуальных пользователей.

Такой компьютер будет иметь вид шлема, взаимодействующего прямо с мозгом человека, монитор в нем будет исключен. Косвенно подтверждает возможность применения в ПК принципов симбиоза с мозгом человека – способности некоторых индивидов к выполнению в уме сложных математических вычислений (многие из таких людей выступают пока лишь на эстраде).

Однако есть и другой путь, более естественный, чем создание технических компьютерных систем, хотя в настоящее время весьма неопределенный – совершенствование самого человеческого мозга и развитие способностей человека взаимодействовать с ним (пока мы используем только 5-10% потенциала мозга). При этом управление компьютером может быть мысленным, что исключает в нем не только монитор, но и клавиатуру, и другие устройства ввода и отображения информации.

Проведенные исследования позволяют заключить, что одним из самых простых доказательств возможности достижения низкоэнергетических вибраций планковского уровня является моделирование вибраций макромолекулы ДНК. При успешном решении этой задачи можно утверждать, что персональный компьютер будущего будет создан на базе биологических систем, непосредственно взаимодействующих с мозгом человека. Поэтому разработка биокomпьютерных систем будет одним из самых интересных и наиболее перспективных направлений в ближайшее время, и ей следует уделять возможно большее внимание.

Литература

1. Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Открытие предельных возможностей быстродействия и памяти компьютеров. // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 6-й Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 г. – с. 205-207.
2. Политехнический словарь /Ред. кол.: А.Ю.Ишлинский (гл. ред.) и др. –3-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. - с. 92, 551, 638.
3. Настасенко В.А. О системе измерений на основе планковских единиц // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов IX междунар. науч.-техн. конф. – Донецк: ДонГТУ, Т.2. 2002. - с. 170-174.
4. Настасенко В.А. Двойственность вариантов конструирования как один из критериев оптимизации // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. трудов VI междунар. науч.-техн. конф. – Донецк: ДонГТУ, Т.2. 1999. - с. 193-196.

УДК 621.99

ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

Ямникова О.А., канд. техн. наук

(г. Тула, Россия)

In materials the updated model of elastic vibrations of lengthy nonrigid bar is submitted (shown) at sharpening. Model with allowance for fastening of bars under the scheme " the three-cam cartridge - center " earlier was investigated (studied), here at simulation of dynamic oscillations were allowed both mobile, and fixed backrests.

Вибрации при обработке длинных нежестких валов – одна из существенных проблем процесса резания. Важная составляющая деформаций – упругие колебания заготовки. Эти колебания, в свою очередь, влияют на геометрические параметры срезаемого слоя, что приводит к снижению точности. То, насколько велики будут погрешности, зависит от параметров резания через силу, возникающую в зоне резания. Для того чтобы избежать данной проблемы в реальном производстве, можно использовать математическое моделирование процесса резания с учетом упругих колебаний заготовки.

Рассмотрим процесс точения гладкого нежесткого вала длиной l радиусом R .

За основу математической модели была взята эмпирическая зависимость силы резания [1]:

$$P_z(x, \tau) = \begin{cases} 0, & x \neq x_{\text{рез}}(\tau); \\ C_p \cdot (t_0 - u_y(x, \tau))^m \cdot (s_0 - w(x, \tau))^p \times \\ \times \left(v_0 - \frac{\partial u_z(x, \tau)}{\partial \tau} - R \cdot \frac{\partial \varphi(x, \tau)}{\partial \tau} \right)^n \cdot K, & x = x_{\text{рез}}(\tau). \end{cases} \quad (1)$$

где C_p - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств обрабатываемого материала; t - глубина резания; s - подача; v - скорость резания; m, p, n - табулированные показатели степени; K - общий поправочный коэффициент, учитывающий изменение условий резания по отношению к табличным.

При отсутствии упругих деформаций точение происходило бы со скоростью резания v_0 , глубиной резания t_0 и подачей s_0 . В процессе резания в технологической системе возникают упругие колебания заготовки в направлении действия составляющих силы резания и крутильные колебания заготовки от действия крутящего момента.

Продольные колебания заготовки $w(x_{\text{рез}}, \tau)$ вдоль оси заготовки приводят к изменению подачи

$$s(\tau) = s_0 - u_y(x_{\text{рез}}, \tau).$$

Глубина резания $t(\tau)$ изменяется в зоне резания на величину поперечных колебаний $u_y(x_{\text{рез}}, \tau)$ заготовки в направлении оси OY : $t(\tau) = t_0 - u_y(x_{\text{рез}}, \tau)$.

Кроме того, совершаются поперечные колебания заготовки вдоль оси Oz - $u_z(x_{\text{рез}}, \tau)$ и крутильные колебания заготовки - $\varphi(x_{\text{рез}}, \tau)$. Скорости этих колебаний оказывают влияние на скорость резания:

$$v(\tau) = v_0 - \frac{\partial u_z(x_{\text{рез}}, \tau)}{\partial \tau} + R \frac{\partial \varphi(x_{\text{рез}}, \tau)}{\partial \tau}.$$

Две другие составляющие силы резания линейно зависят от $P_z(x, \tau)$:

$$P_x(x, \tau) = K_x \cdot P_z(x, \tau); \quad P_y(x, \tau) = K_y \cdot P_z(x, \tau).$$

Рассмотрим влияние вибраций в зоне резания на режимы резания. Для начала выберем систему координат. Расчетная схема деформаций вала при точении представлена на рис. 1. Пусть левый конец заготовки будет началом координат, ось заготовки - ось координат OX , вертикаль - ось OZ и перпендикуляр к горизонтальной плоскости заготовки - ось OY .

Исходными данными при расчете упругих колебаний заготовок будут являться параметры резания (скорость резания, подача, глубина резания), геометрические параметры заготовки и схема закрепления вала (с учетом люнетов), а также жесткости технологической системы. Результат моделирования удобнее всего представить в виде временной зависимости модуля силы резания и заготовки. Рассматривая колебания упругого тела, будем предполагать, что материал однороден, изотропен и подчиняется закону Гука. Кроме того, перемещения достаточно малы, чтобы рассматривать поведение при динамических возмущениях как линейно упругое.

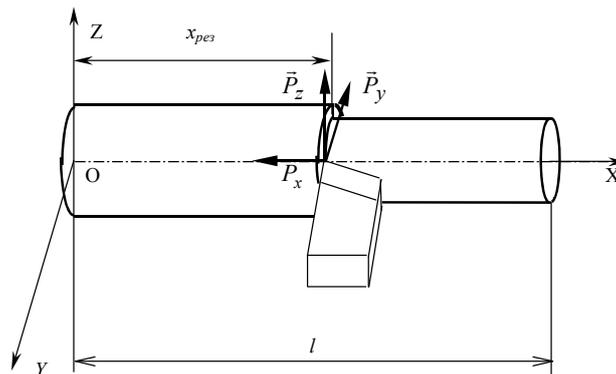


Рис. 1. Расчетная схема колебаний заготовки при точении

В начальный момент времени $\tau = 0$. $P_x(x, \tau)$, $P_y(x, \tau)$, $P_z(x, \tau)$ - модули составляющих силы резания по осям координат. В процессе обработки заготовка будет совершать вынужденные упругие колебания, вызванные силой резания. В математической модели будем рассматривать следующие колебания: продольные - $w(x, \tau)$ вдоль оси заготовки, крутильные - $\varphi(x, \tau)$, поперечные в плоскости XOZ - $u_z(x, \tau)$, поперечные в плоскости XOY - $u_y(x, \tau)$. При моделировании исходными данными являются следующие характеристики заготовки: R - радиус заготовки, ρ - плотность материала, m - масса заготовки, l - длина заготовки, l_1 - расстояние от задней бабки до неподвижного люнета, l_2 - расстояние от задней бабки до подвижного люнета, $x_{\text{рез}}$ - координата зоны резания.

Ранее в работе [1] была описана математическая модель колебаний заготовки при точении без учета люнетов. В нашем случае рассмотрим общий случай, учитывающий наличие в технологической системе как неподвижного, так и подвижного люнетов.

Вынужденные поперечные колебания заготовки будем рассматривать как в плоскости XOY (рис. 2а), так и в плоскости XOZ (рис. 2б). В этом случае крепление вала в патроне и заднем центре будем аппроксимировать

балкой круглого сечения, опертой на пружины с массами: C_{n_y} , C_{n_z} – жесткости передней бабки вдоль осей Oy и Oz , m_n – приведенная масса передней бабки; C_{3_y} , C_{3_z} – жесткости задней бабки вдоль осей Oy и Oz , m_3 – приведенная масса задней бабки. Также можно учесть использование люнетов как дополнительных опор с заданной массой и жесткостью: $m_{л1}$, $C_{л1_y}$ ($C_{л1_z}$) – соответственно масса и жесткость по осям Oy и Oz неподвижного

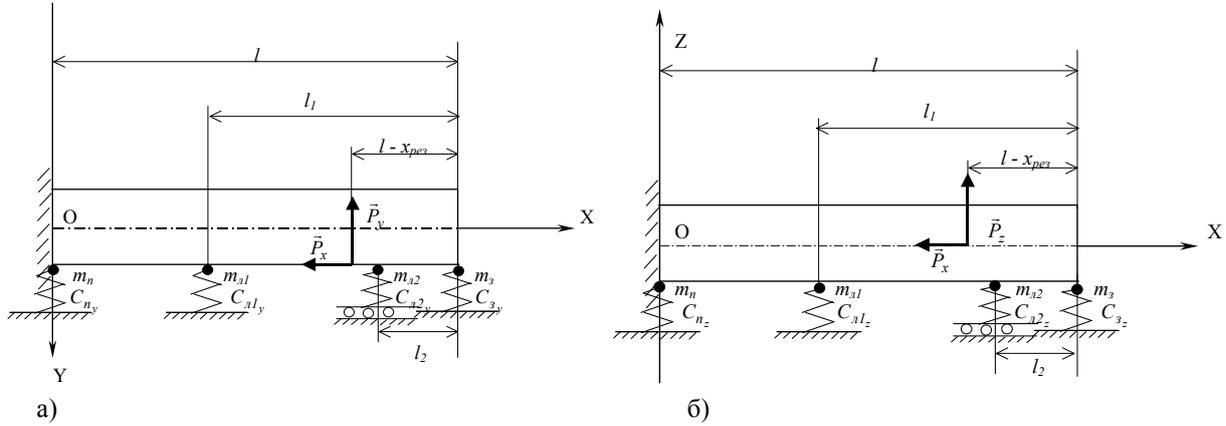


Рис.2. Расчетная схема поперечных колебаний заготовки при точении: а – в плоскости XOY; б – в плоскости XOZ.

люнета и $m_{л2}$, $C_{л2_y}$ ($C_{л2_z}$) – соответственно масса и жесткость по осям Oy и Oz подвижного люнета.

Рассмотрим уравнение поперечных колебаний в плоскости XOY. В плоскости XOZ построение краевой задачи о поперечных колебаниях заготовки будет аналогично. Уравнения, описывающие поперечные колебания вала, кроме вынуждающей силы P_y будут учитывать также растягивающую продольную силу P_x и дополнительный изгибающий момент:

$$\frac{\partial^2 u_y}{\partial \tau^2} + c^2 \cdot \frac{\partial^4 u_y}{\partial x^4} = -\frac{P_x(x, \tau)}{\pi \cdot R^2 \cdot \rho} \cdot \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{(l^2 + 6R^2)}{12} \cdot \frac{\partial^4 u_y}{\partial x^2 \partial \tau^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial \tau^2} + c^2 \cdot \frac{\partial^4 u_z}{\partial x^4} = -\frac{P_x(x, \tau)}{\pi \cdot R^2 \cdot \rho} \cdot \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{(l^2 + 6R^2)}{12} \cdot \frac{\partial^4 u_z}{\partial x^2 \partial \tau^2}, \quad (3)$$

где $c = \sqrt{\frac{E \cdot R^2}{4\rho}}$ – скорость распространения поперечных колебаний заготовки.

В этом случае начальные и граничные условия имеют вид при $\tau = 0$:

$$u_y(x, 0) = 0; \quad \left. \frac{\partial u_y}{\partial \tau} \right|_{\tau=0} = 0; \quad (4)$$

$$u_z(x, 0) = 0; \quad \left. \frac{\partial u_z}{\partial \tau} \right|_{\tau=0} = 0, \quad (5)$$

граничные условия при $x = 0$

$$\left. \frac{\partial u_y}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad -\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_y}{\partial x^3} \right|_{x=0} = m_n \cdot \left. \frac{\partial^2 u_y}{\partial \tau^2} \right|_{x=0} + C_{п_y} \cdot u_y(0, \tau); \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial u_z}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad -\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_z}{\partial x^3} \right|_{x=0} = m_n \cdot \left. \frac{\partial^2 u_z}{\partial \tau^2} \right|_{x=0} + C_{п_z} \cdot u_z(0, \tau); \quad (7)$$

при $x = l$:

$$\left. \frac{\partial u_y}{\partial x} \right|_{x=l} = 0; \quad \frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_y}{\partial x^3} \right|_{x=l} = m_3 \cdot \left. \frac{\partial^2 u_y}{\partial \tau^2} \right|_{x=l} + C_{3_y} \cdot u_y(l, \tau); \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial u_z}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, \quad -\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_z}{\partial x^3} \right|_{x=l} = m_3 \cdot \left. \frac{\partial^2 u_z}{\partial \tau^2} \right|_{x=l} + C_{3z} \cdot u_z(l, \tau); \quad (9)$$

в зоне люнетов: неподвижного –

$$-\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_y}{\partial x^3} \right|_{x=x_1} = m_{11} \cdot \left. \frac{\partial^2 u_y}{\partial \tau^2} \right|_{x=x_1} + C_{11y} \cdot u_y(x_1, \tau); \quad (10)$$

$$-\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_z}{\partial x^3} \right|_{x=x_1} = m_{11} \cdot \left. \frac{\partial^2 u_z}{\partial \tau^2} \right|_{x=x_1} + C_{11z} \cdot u_z(x_1, \tau); \quad (11)$$

подвижного –

$$-\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_y}{\partial x^3} \right|_{x=x_2} = m_{12} \cdot \left. \frac{\partial^2 u_y}{\partial \tau^2} \right|_{x=x_2} + C_{12y} \cdot u_y(x_2, \tau); \quad (12)$$

$$-\frac{\pi \cdot R^2 \cdot E}{4} \cdot \left. \frac{\partial^3 u_z}{\partial x^3} \right|_{x=x_2} = m_{12} \cdot \left. \frac{\partial^2 u_z}{\partial \tau^2} \right|_{x=x_2} + C_{12z} \cdot u_z(x_2, \tau). \quad (13)$$

В результате дифференциальное уравнение (2) и условия (4), (6), (8), (10), (12) представляют собой краевую задачу о поперечных колебаниях вала при точении в плоскости XOY, а дифференциальное уравнение (3) и условия (5), (7), (9), (11), (13) представляют собой краевую задачу о поперечных колебаниях вала при точении в плоскости XOZ.

Данная математическая модель легла в основу численного моделирования динамики технологической системы при точении длинной нежесткой заготовки.

Литература

1. Ямникова О.А. Динамическая модель колебания заготовки при точении // Проектирование технологических машин. Выпуск 2, М.: 1996, МГТУ “Станкин”, с. 55 – 60.

УДК 621.923

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Погребной Н.А., канд. техн. наук, Шевченко С.М., Ткаченко В.П., Дитиненко С.А.

(г. Харьков, Украина)

In activity the outcomes of experimental researches of parameters of quality of processing of hard alloys are adduced on the basis of tungsten carbide after diamond grinding with applying of electroerosive editing of diamond circles on metallical flow bundle.

Опыт применения алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов на основе карбида вольфрама свидетельствует о том, что алмазный круг претерпевает достаточно быстрый износ и потерю режущих свойств. Первоначально достаточно высокая производительность процесса к концу периода стойкости инструмента резки понижается из-за интенсивного засаливания круга. Стойкость круга составляет 6-15 минут. Для восстановления режущих свойств алмазного круга возникает необходимость в правке. Такой интенсивный износ в основном объясняется высокой твердостью обрабатываемого материала: микротвердость WC составляет порядком 1585-1730 кг/мм². Основной эксплуатационной характеристикой качества рабочих поверхностей алмазных инструментов является их режущая способность. Сохранение этих свойств в течении длительного периода времени находится в прямой зависимости от применяемого метода шлифования, позволяющего в той или иной степени поддерживать высокую развитость рельефа алмазного круга, исключать его засаливание в процессе работы и обеспечивать необходимое выступание режущих зерен над связкой алмазного круга. Опыты многих исследователей [1] показывают, что алмазные круги после электроэрозионной правки обладают высокими режущими свойствами, которые существенно превышают режущие свойства, получаемые после других видов правки – абразивной, катодной и пр. Они довольно долго сохраняют режущую способность, хотя в начальный период приработки наблюдается некоторое снижение производительности. При этом имеет место повышенный расход алмазов вследствие вырывания наиболее выступающих слабо закрепленных зерен. Если работа производится в режиме алмазно-искрового шлифования, то режущая способность круга стабильно сохраняется в течение длительного времени (несколько часов). В результате электро-искрового воздействия существенно повышается режущая способность кругов. Это проявляется в остаточном напряженном состоянии обрабатываемой поверхности. Так, в результате шлифования сплавов ВК8 алмазными кругами одинаковой зернистости, но с различным способом правки круга (абразивная, электроэрозионная), наблюдается формирование в карбидной

фазе сжимающих остаточных напряжений, обнаружена тенденция к их возрастанию в 2 раза при шлифовании кругами, правленными электроэрозионным способом (режим механической обработки образцов – $V_{кр} = 30$ м/с, $S = 1$ м/мин, режим электроэрозионной правки кругов при помощи генератора импульсов $f = 8$ кГц, $W = 0,009$ Дж) [2].

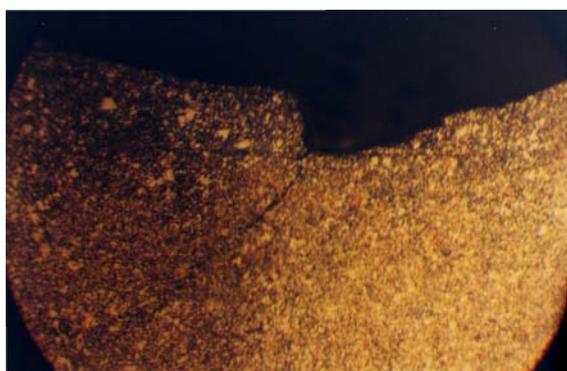
Сжимающий характер остаточных напряжений указывает на существенное значение силового фактора в формировании напряженного состояния обрабатываемой поверхности в обоих случаях правки и меньшим тепловыделением вследствие лучшей микрогеометрии алмазных зерен и большего выступания их над связкой в случае шлифования кругами, подвергнутыми правке электроэрозионным способом. Процесс алмазно-искрового шлифования (АИШ) основан на совмещении в зоне обработки механического резания и электроискрового воздействия.

Исследование качества поверхности труднообрабатываемых сплавов после АИШ представляет практический интерес. Твердые сплавы на основе WC имеют относительно низкую прочность на изгиб; как известно, твердость карбида вольфрама очень высокая, но в то же время он очень хрупкий. При АИШ высокотемпературный и высокоскоростной, локальный нагрев приводит к существенным изменениям в условиях работы алмазных зерен и, следовательно, может влиять на фазовый состав, микроструктуру и напряженное состояние обработанной поверхности. Одновременно с этим происходит электроискровое воздействие на материал инструмента и его правка, что в свою очередь отражается на параметрах состояния поверхностного слоя. На процесс формирования обработанной поверхности при АИШ оказывают влияние в основном электрические параметры обработки: силы тока, напряжения. С увеличением силы тока (от 10 до 60А) высота микронеровностей несколько уменьшается.

Это объясняется тем, что с увеличением силы тока повышается интенсивность электрохимических процессов, что уменьшает долю механического съема. Некоторое уменьшение микротвердости при электрохимическом алмазном шлифовании может быть объяснено меньшими силовыми воздействиями на обрабатываемую деталь вследствие преимущественного растворения кобальтовой связки [2].

Цель работы – провести оценку параметров качества обработки крупнозернистых и мелкозернистых твердых сплавов на основе карбида вольфрама после алмазно-искрового и обычного алмазного шлифования кругами формы 12A1 и 1A1 на металлической связке М1-01.

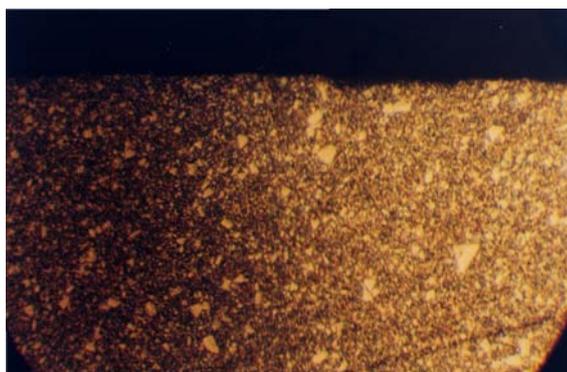
Первоначально исследования процесса алмазного шлифования кругом 12A1 45° 150x10x3x32 AC6 125/100 М1-01 4 (с применением электроэрозионной правки) торца кольца, выполненного из композиции “твердый сплав “Релит”- медь”. Твердый сплав релит представляет собой зерна литого карбида вольфрама размером 0,18 – 0,28 мм, твердостью 2100-2800 кг/мм². Композиция “твердый сплав “Релит”-медь” получена методом прессования с удельным давлением 3-4 т/см² и последующим спеканием в вакуумной печи при температуре 1150-1200°С.



а



б



в



г

Рис.1. Микроструктура твердых сплавов на основе карбида вольфрама.

Структура сплава «Релит» представляет собой вольфрамовый каркас, поры которого заполнены медью (рис. 1,а). Медь и вольфрам практически не растворяются друг в друге ни в жидком, ни в твердом состоянии. Твердые сплавы на основе WC имеют простую кристаллическую решетку, которая не распадается при нагреве и отличается высокой прочностью. Особенностью данного сплава является то, что размер зерна WC составляет 0,2 мкм и выше, что затрудняет процесс шлифования.

Шлифование торца вращающегося кольца торцом алмазного круга производилось на внутришлифовальном станке. Кольцо устанавливалось в патроне. Круг устанавливался на шпинделе станка и прижимался к торцу кольца. Скорость подачи круга в радиальном направлении составляла 1,5 мм/мин, скорость вращения круга - - 30 м/сек, скорость вращения кольца - 60 м/мин, СОЖ - 3%-ный раствор Na₂NO₃. Электроэрозионная правка алмазного круга производилась с использованием источника постоянного тока мощностью до 2-х кВт.

Для определения фазового состава проводились рентгеновские съемки поверхностного и предповерхностного слоя (около 5 мкм от поверхности) шлифованного образца на дифрактометре Дрон-2,0 в излучении хромового анода. Дифрактограммы записывались автоматически при непрерывном вращении образца и счетчика. На дифрактограммах поверхностного и предповерхностного слоя выявляются линии только WC и Cu. Линии достаточно сильные и идентифицируются уверенно. Интенсивность дифракционных линий поверхностного слоя меньше, чем предповерхностного, что объясняется различной чистотой поверхности.

Металлографический анализ выявляет наличие микролунок (рис. 1,а). Под действием электрического разряда происходит быстрый высокотемпературный локальный нагрев поверхности электродов с образованием микролунок за счет плавления, кипения, испарения металла. Глубина лунок на поверхности нашего образца в среднем равна 4 мкм.

Измерение микротвердости H поверхностного и предповерхностного слоя образца при нагрузке 100 г выявили наличие упрочнения в поверхностном слое: H поверхностного слоя составляет 1226,8 [кг/мм²], а приповерхностного слоя $H=1062,3$ [кг/мм²]. Опыты многих исследователей показали, что существует оптимальная микротвердость поверхностных слоев трущихся деталей. Для повышения износоустойчивости деталей машин необходимо создавать в процессе АИШ микротвердость поверхностных слоев трения, равную или несколько большую оптимальной для данных условий трения поверхностей. Задача будущих исследований - определить оптимальную величину микротвердости для сплава «Релит» после АИШ для заданных условий трения.

Остаточные ориентированные напряжения σ определялись рентгенографическим методом многократных наклонных съемок (" $\sin^2\Psi$ -метод") на дифрактометре Дрон-1 в излучениях хромового анода. Регистрация профилей дифракционных линий проводилась по точкам - способом набора заданного числа импульсов. Расчет напряжений в поверхностном слое сплава показал наличие растягивающих напряжений в карбидной фазе: $\sigma = +24,43$ кг/мм²; напряжения в медной составляющей сплава равны 0. На основании приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы:

1. Авторами впервые исследован процесс алмазного шлифования крупнокарбидного композиционного материала типа сплава «Релит».
2. Электрические разряды выполняют вспомогательную роль, их действие способствуют интенсификации основного процесса шлифования, а именно поддерживают высокую режущую способность алмазного круга.
3. Исследование показателей качества поверхностного слоя сплава выявили оптимальные значения с точки зрения износоустойчивости, а именно: отсутствие фазовых превращений; отсутствие микротрещин; наличие упрочнения поверхностного слоя.

Сплав ВК8 (92% WC и Co 8%) относится к I группе твердых сплавов. Применяется в основном для обработки чугуна, цветных металлов. Порошок WC прессуют и спекают при высокой температуре (1400°C) с порошком кобальта, при этом кобальт является пластичной связкой для WC. и сплавов, неметаллических материалов[3]. Весьма целесообразно применение резцов, оснащенных ВК8 при непрерывном точении жаропрочных сплавов (ЭИ437А, ЭИ767, ЭИ766, ЭИ787, ЭИ827), например при обработке дисков турбин. Одновременно установлена невозможность использования твердых сплавов при непрерывном точении жаропрочных сплавов, так как уже в первые минуты работы резцов имеют место крупные сколы пластинок, после чего их дальнейшее использование становится невозможным. Наблюдения за износом резцов, оснащенных твердым сплавом при непрерывном точении сплава ЭИ437, показывают, что имеет место сваривание образующейся стружки с твердым сплавом. При срыве налипших частиц приварившейся стружки происходит отслаивание твердого сплава как по передней, так и по задней поверхностям [4].

Таким образом, резцы из твердых сплавов типа ВК8 работают в условиях высоких температур и знакопеременных нагрузок. Поэтому большой интерес представляют вопросы изучения влияния условий АИШ на основные характеристики качества поверхности, которые определяют поведение резцов и других деталей в процессе эксплуатации.

Качество поверхностного слоя пластинок из твердого сплава оценивается совокупностью показателей, характеризующих геометрию поверхностного слоя и его физико-механические свойства. Первая группа показателей включает характеристику макро- и микронеровностей поверхности; наличие или отсутствие микротрещин является важным показателем работоспособности инструмента, а вторая - характеристики структуры, напряженное состояние, фазовый состав и твердость [5]. Усталостная прочность является одной из основных эксплуатационных характеристик для твердосплавных инструментов. Как было установлено многочисленными наблюдениями исследователей, очаги разрушения деталей от усталости материала зарождаются на их поверх-

ности. Поэтому усталостная прочность деталей машин в значительной степени определяется шероховатостью их поверхностей и физическим состоянием поверхностного слоя. Наличие на поверхности детали, работающей в условиях циклической и знакопеременных нагрузок, отдельных дефектов и шероховатостей способствует концентрации напряжений, величина которых может превысить предел усталости материала. В этом случае поверхностные дефекты и обработочные риски играют роль очагов возникновения субмикроскопических нарушений сплошности материала поверхностного слоя и его разрыхления, являющихся первопричиной образования усталостных трещин.

Для исследования качества поверхности сплава ВК8 были взяты четыре образца, шлифованные на круглошлифовальном станке алмазным кругом 1А1 300x25x6 АС6 125/100 М1-01 4. Образец №1 шлифовался в режиме алмазно-искрового шлифования: сила тока $I=20\text{А}$, поперечная подача $S_{\text{non}}=0,2\text{мм/дв.ход}$, скорость круга $V_{\text{кр}}=25\text{м/с}$, скорость вращения заготовки - $V_{\text{вр.заг.}}=180\text{ об/мин}$, скорость движения стола - $V_{\text{стола}}=12\text{ м/мин}$, съём материала составил 6 мм. Образец №2 после шлифования на выше указанном режиме подвергался выхаживанию, то есть шлифованию без подачи (в течение 3 минут) до полного исчезновения искры. Съём материала также составил 6 мм.

Образец №3 обрабатывался по режиму обычного алмазного шлифования, с теми же механическими параметрами обработки. Однако алмазный круг предварительно подвергался электроэрозионной правке. Стойкость его работы увеличилась примерно в 10 раз.

Образец №4 обработан по схеме: обычное алмазное шлифование + выхаживание (без подачи).

Весьма тонкие поверхностные слои материала после шлифования характеризуются определенными изменениями физико-механических свойств по сравнению со свойствами исходного материала. Для установления наличия фазовых превращений при различных условиях шлифования было проведено рентгеноструктурное исследование четырех образцов (пластин) из твердого сплава марки ВК8. В результате произведенного фазового анализа было установлено наличие только двух фаз WC и Co - β - твердого раствора. Оценка внутренних напряжений в поверхностном слое проводилась по выше описанной методике для сплава "Религ". Показателем степени напряженного состояния в поверхностном слое является полуширина B дифракционной кривой.

Режим АИШ формирует незначительные растягивающие напряжения $\sigma x1 = +24\text{ кг/мм}^2$, что можно объяснить воздействием электрических разрядов на поверхность образца. Глубина лунок около 18 мкм (рис.1,б). Режим №2 несколько уменьшает растягивающие напряжения: $\sigma x2 = +15,74\text{ кг/мм}^2$. Сжимающие напряжения выявлены в образце №3 и составляет $\sigma x3 = -26,22\text{ кг/мм}^2$.

Многочисленными исследованиями установлено, что при наличии в поверхностном слое сжимающих напряжений усталостная прочность изделия значительно возрастает. В рамках данного режима можно говорить об улучшении состояния поверхностного слоя. Применяемая же доводка в образце №4 меняет знак напряжений и составляет: $\sigma x4 = +19,54\text{ кг/мм}^2$. Металлографические исследования образцов также показали различное состояние поверхностного слоя. Особенно необходимо выделить поверхность образца №2 (рис.1,в). На поверхности отчетливо видны микротрещины, которые являются результатом релаксации внутренних напряжений. Такой механизм трещинообразования характерен для хрупких и твердых материалов. Такое объяснение логично сочетается со значением внутренних напряжений данного образца (некоторое снижение растягивающих напряжений по сравнению с режимом АИШ №1). Глубина лунок составляет 8 мкм для образца №2, по сравнению с глубиной микролунок от электрических разрядов после АИШ равной 18 мкм. Поверхность образца №3 является оптимальной, так как на ней отсутствуют задиры, трещины, рис. 1,г.

Полученные данные основных показателей качества наших образцов позволяют рекомендовать режим №3 для шлифования сплава ВК8. Алмазный круг после электроэрозионной правки показывает не только повышенную стойкость, но и одновременно обеспечивает качественный поверхностный слой, а именно: "чистую" поверхность, наличие сжимающих напряжений, оптимальную шероховатость, что в свою очередь должно обеспечить высокую эксплуатационную надежность деталей, выполненных из сплава ВК8.

Литература

1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук, Харьков, 1995. – 56 с.
2. Фукс М.Я., Беззубенко Н.К., Свердлов Б.М. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльбровой обработки. - К.: Вища школа, 1979. – 158 с.
3. Кузьмин Б.А., Самохоцкий А.И., Кузнецова Т.Н. Металлургия. Металловедение и конструкционные материалы. - М.: Высшая школа, 1977. – 176 с.
4. Криворуков В.А. Обрабатываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов. - М.: Издательство машиностроительной литературы, 1961. – 245 с.
5. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. - М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.
6. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие/ А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

А) Пример последовательности формирования команды "Сдвиг"

Б) Пример последовательности формирования команды "Пауза"

Графика

Положение объектов Движение объектов

Тип

Загрузка
Разгрузка

Рисунок
Пауза
Поворот
Сдвиг
Команда

Дискретно

dx= 0,3 dy= 0

015

Загрузка

Условие: Рит.59
Цикл: 57, Size
Рисунок_ОбъектОбработки,7
Рисунок_Человек,1
Рисунок_Человек,5
Пауза_Человек,6,4
Рисунок_Человек,2
Рисунок_ОбъектОбработки,6
Поворот_Человек,-132,44,4
Сдвиг_Человек,0,36,0,45,0,09,4
Поворот_Человек,42,21,4
Рисунок_Человек,5
Поворот_ОбъектОбработки,90,90,0
Сдвиг_ОбъектОбработки,0,8,0,0,8,0
Сдвиг_ОбъектОбработки,0,905,0,905,0
Рисунок_ОбъектОбработки,7
Рисунок_Человек,1
Рисунок_Человек,9
Поворот_Человек,-90,45,0,1
Сдвиг_Человек,0,3,0,0,15,0,1
Поворот_Человек,90,45,0,1
Рисунок_Человек,14
Пауза_Человек,2,0,1
Рисунок_Человек,9
Сдвиг_1A7303аднаяБабка,-0,18,0,0,09,2

Точка 1

Точка 1 - Точка 2

Точка 2

Точка 2 - Точка 3

Точка 3

Система поэлементного нормирования производственных движений человека

Файл Нормирование Базы данных Кодификаторы Редактор Окно Помощь

Результаты расчетов

№	МЭ	Время (сек)
4	ПР	6,24
4	Х	16,72

Record Will Be Changed

Код вида микроэлемента ПР

Степень осторожности (ОС) ОС1

Степень контроля (К) К1

Расстояние перемещения руки (предмета) (S): (мм) 300,0

Кодификатор микроэлементов движения человека

Структура классификатора

- 1 Протянуть руку
- 2 Переместить
- 3 Повернуть
- 4 Вращать
- 5 Установить
- 6 Разъединить
- 7 Взять
- 8 Ходить
- 9 Повернуть туловище
- 10 Перевести взгляд
- 11 Отпустить
- 12 Нажать рукой
- 13 Установить на размер

Выбрать Развернуть Свернуть Закрыть

Рис. 1. Примеры расчета норм времени перемещения человека в ходе выполнения технологических операций.

Результаты имитационного моделирования производственных подразделений различного уровня интеграции (от рабочего места до участка – цеха) дали возможность вскрыть большие резервы производительности систем и повысить уровень загрузки оборудования в среднем на 15-20%.

Литература

1. Шелковой А.Н. Методика разработки имитационной модели гибкого производственного модуля //Резание и инструмент в технологических системах. - Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ, 2000, вып.58, С.133-140.
2. Шелковой А.Н. Проблемы нормирования вспомогательного времени при имитационном моделировании поточного производства //Резание и инструмент в технологических системах. - Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ, 2000, вып.57, С.256-262;
3. Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н., Рузметов А.Р., Концур С.А. Аналитический подход к оценке временных характеристик рабочего места станочника //Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". - Харків, 2002. - Вип. 1(5) С.370-376.

УДК 621.7.011:539.89;621.777

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ГИДРОПРЕССОВАНИЕМ ЗАГОТОВОК

Гулюк А.А., Подобедов В.В., канд. техн. наук, Молчанова Л.В.

(г. Харьков, Украина)

In clause the results of an experimental research and introduction in manufacture of new technology of reception of preparations by a diameter up to 40 mm for metal cutting of tools are submitted. Is shown, that at observance of the offered technology of manufacturing the increase of guarantee stability of the tool while in service in 1,45 is provided 1,7 times.

Представленная работа выполнялась с целью получения заготовок инструментов с повышенными стойкостными качествами из сталей 9ХС, ХВГ, Х12М, Р6М5, Р18. Исследовались степень деформации материала, угол воронки матрицы, уровень гидростатического давления жидкости, температура последеформационного отпуска и температура

закалки. Учитывая практически однородное распределение деформаций в гидропрессованных прутках круглого сечения, степень деформации материала оценивалась степенью деформации образцов в виде относительного сужения при гидропрессовании (ϵ).

На основании результатов исследований и опытно-промышленной проверки разработан технологический процесс получения заготовок диаметром до 40 мм и последующего изготовления из них металлорежущих и штамповых инструментов. В процессе предусмотрена следующая последовательность технологических операций:

- 1 раскрой прутка на заготовки мерной длины;
- 2 термическая обработка;
- 3 очистка поверхности заготовок от окалины;
- 4 проточка заходного конуса на заготовках;
- 5 нанесение на заготовки покрытия и смазочного вещества;
- 6 гидропрессование;
- 7 последеформационный отпуск металла;
- 8 механическая обработка гидропрессованных заготовок;
- 9 окончательная термическая обработка;
- 10 шлифовка, заточка и т.п. окончательная механическая обработка.

Сущность процесса гидропрессования, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1, состоит в следующем: заготовку (1), диаметром на 1-2 миллиметра меньше диаметра контейнера (2), помещают в штамп, сверху устанавливают пуансон (3), включают рабочий ход пресса и производят выдавливание заготовки через профильную матрицу (4). Выдавливаемая заготовка подвергается действию всесторонних сжимающих напряжений и начинает пластически деформироваться путем истечения в очко матрицы. Профиль матрицы соответствует форме выдавливаемой заготовки. Заготовка после выхода из калибрующего пояса матрицы (4) подвергается правке по длине за счет усилия выдавливания.

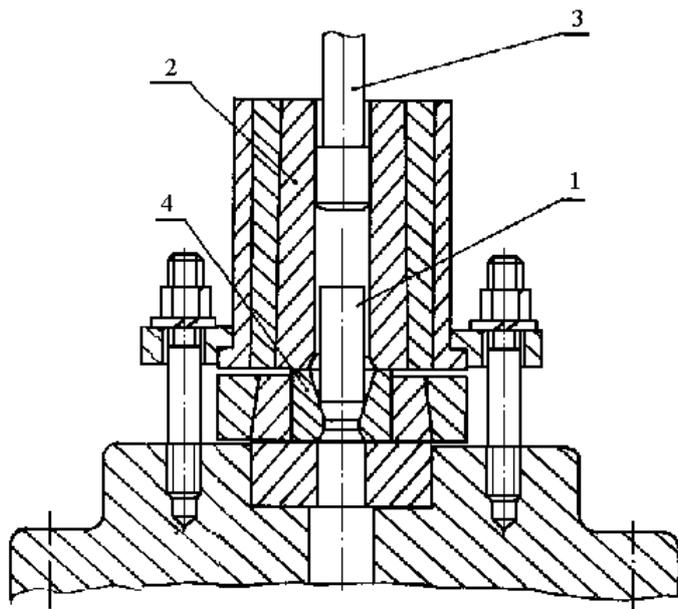


Рис. 1. 1 – заготовка, 2 – контейнер высокого давления, 3 – пуансон, 4 – матрица.

степени уменьшения карбидной неоднородности материала.

Установлено, что с целью снижения карбидной неоднородности сталей гидропрессование заготовок целесообразно осуществлять с большими степенями деформации (порядка $\epsilon=50...90\%$), размер аустенитного зерна быстрорежущих сталей уменьшается с увеличением степени деформации до $\epsilon=70\%$.

На рис.2 приведена зависимость механических свойств в высокопрочном состоянии (после закалки и отпуска) стали Р6М5 со 2-м баллом карбидной неоднородности в исходном состоянии от степени деформации заготовок при гидропрессовании. Предел прочности при изгибе и ударная вязкость гидропрессованной стали повышалась с увеличением степени деформации, максимальный прирост зафиксирован при $\epsilon=97\%$. Дальнейшее увеличение степени деформации привело к снижению уровня свойств стали. Результат объясняется тем, что хотя снижение карбидной неоднородности и наклеп способствуют повышению свойств стали, образующиеся в процессе гидропрессования заготовки микротрещины залечиваются при последующей термической обработке стали в случае ограниченных деформаций и оказывают отрицательное влияние при степенях деформаций, больших критического уровня.

Предельная степень деформации, обеспечивающая положительный эффект комплексного упрочнения, зависит от структуры и свойств сталей в исходных прутках проката, условий гидропрессования и составляет для

Холодная пластическая деформация инструментальных сталей затруднена из-за высокого сопротивления деформированию и ограниченной технологической пластичности заготовок. В связи с этим решающим фактором, определяющим преимущества метода гидропрессования по сравнению с обычным прессованием, является возможность создания высокоэффективного смазочного слоя, снижения контактного трения и использования матриц с малыми углами конусности.

В соответствии с полученными результатами теоретических и экспериментальных исследований установлены основные факторы, определяющие эффект предварительной термомеханической обработки инструментальных сталей (У8, У10, 9ХС, ХВГ, Р6М5, Р18, Х12М) – условия и степень деформации заготовок, режимы последеформационного отпуска, закалки и отпуска после закалки. Эффект обработки существенным образом зависит от структурного состояния обрабатываемой стали, более значительное повышение свойств достигается при большей

быстрорежущих сталей порядка $\varepsilon_n=70...90\%$, для штамповых сталей типа X12M, X12Ф1 – $\varepsilon_n=15...70\%$. В случае гидропрессования заготовок из сталей P6M5, P18 с деформациями $\varepsilon=60...90\%$, карбидная неоднородность уменьшилась с 5 до 2...3 балла, предел прочности закаленных образцов повышался на 10...20%, ударная вязкость – на 40...60%.

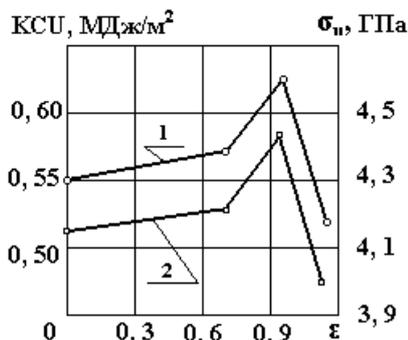


Рис. 2. 1 – предел прочности при изгибе, 2 – ударная вязкость образцов.

Значительного влияния на твердость быстрорежущих сталей степень деформации не оказывала при всех исследованных режимах термической обработки.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили оптимизировать режимы гидропрессования заготовок в соответствии с установленными связями между параметрами технологического процесса, характеристиками структуры обрабатываемого материала и показателями качества инструмента.

Сравнительные стойкостные испытания инструментов различных типов: резцов, метчиков, сверл, которые изготавливались из гидропрессованных заготовок круглого сечения ($\varepsilon=45...60\%$) и для сравнения из исходных прутков проката, проводились в идентичных условиях. Установлено, что стойкость инструмента из гидропрессованных заготовок в среднем в 1,45...1,7 раза выше от аналогичных показателей инструмента партии сравнения.

Достигнутый эффект существенного повышения гарантийной стойкости инструментов имеет большое практическое значение, так как при работе автоматизированного оборудования, как известно, для сокращения времени простоев осуществляют регламентную замену инструментов, как правило, при достижении уровня гарантийной стойкости.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ НА ДЕТАЛИ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА ВЫСОКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЕРДОСТИ

Гасанов М.И., канд. техн. наук, Швырев В.С.

(г. Харьков, Украина)

Know-how of deposition on a part of tear-proof cover on the basis of electrolytic Ferri lactas of high surface hardness

Нами разработана и внедряется новая технология нанесения износостойкого покрытия, на основе электролитического железа высокой поверхностной твердости на детали из различных марок стали, чугуна, цветных металлов при комнатной температуре под воздействием тока (гальваническая обработка), что позволяет сохранять без изменения внутреннюю структуру обрабатываемой детали. Технология обработки поверхности обеспечивает повышенные физические и химические свойства обрабатываемой поверхности. Покрытие обладает следующими эксплуатационными свойствами:

- Твердость HRCэ 58-70.
- Толщина слоя 0,1 - 2,0 мм на сторону, либо на радиус.
- Скорость осаждения 0,25 мм\час.
- Чистота поверхности - соответствует чистоте исходной поверхности (до 1 мкм). Покрытие имеет прочное сцепление с основным металлом, благодаря чему не скалывается и не отслаивается при различной механической обработке (зависит от толщины наносимого слоя).
- Коэффициент трения, за счет внутренней игольчатой структуры, выше по сравнению со сталью.
- Коррозионная стойкость покрытия по сравнению со сталью повышенная. Возможно локальное нанесение покрытия.
- Механическая обработка - возможна шлифовка алмазным камнем, с последующей доводкой и полировкой (получение 14 класса чистоты поверхности) с сохранением твердости на всю глубину покрытия.

Покрытие возможно использовать для восстановления изношенных трущихся поверхностей, а так же для повышения износостойкости пар деталей из улучшенных и низкоуглеродистых сталей с целью уменьшения коэффициента трения и увеличения поверхностной твердости и износостойкости деталей.

Использование плазменного напыления и наплавки металла, а так же закалка, как показала практика, является более дорогостоящим и сложным процессом, но, самое главное, все вышеуказанные методы не всегда могут применяться на практике, а их применение не всегда дает улучшение качественных характеристик изделия. В некоторых случаях их применение вообще невозможно, из-за сложности конфигурации деталей (тонкостенные втулки, внутренние поверхности и т. д.).

Максимальная величина едино разово наносимого слоя до 4 мм. Наносимое покрытие имеет большой коэффициент сцепления с основным металлом, что позволяет применять к нанесенной поверхности всевозможную механическую обработку. Внутренняя структура наносимого слоя, после различных видов механической обра-

ботки, сохраняет высокую твердость (до 58 - 70 единиц по Роквеллу) по всей толщине наносимого покрытия и повышенный коэффициент скольжения по поверхности, что способствует уменьшению износа, а соответственно увеличению срока службы детали.

Возможно нанесение твердых покрытий сплавов железо - никель, железо - никель - молибден на всевозможные поверхности. Покрытие сплавов железо - никель, железо - никель - молибден является антикоррозийным покрытием, обладающим большой твердостью, мелкозернистостью, незначительной пористостью. После осаждения данных покрытий не требуется дополнительная термообработка.

Технология позволяет наносить так же медь и различные сплавы на основе меди.

Применение данного покрытия возможно как и в случае проведения ремонтно-восстановительных работ, так и при изготовлении новых изделий.

Особое внимание следует обратить на более лучшую экологичность данной технологии (по сравнению с другими гальваническими производствами) в связи с применением комнатных температур (не требует подогрева), очень низкой кислотностью (рН 0,8-1,4) и работой одного и того же раствора в течении нескольких лет (раствор в процессе работы само восстанавливается).

Рекомендуемые направления использования покрытия.

1. Инструментальное производство - восстановление штампов, пресс форм, приспособлений, нанесение на новые. Повышение стойкости режущего инструмента - фильеров, протяжек и прочее...
2. Использование взамен процесса цементации.
3. В гальванопластике - получение форм более высокой прочности, и в более короткий срок (в 5 раз быстрее).
4. В сельском хозяйстве - повышение срока службы и восстановление деталей машин и механизмов используемых для обработки земли.
5. В машиностроении:
 - обработка (или восстановление) посадочных мест подшипника как внутренних, так и наружных, в случае его проворачивания на оси, либо в корпусе;
 - обработка (или восстановление) всевозможных шаровых поверхностей (в том числе пальцев шаровых опор);
 - обработка (или восстановление) всевозможных как внутренних так и наружных шлицевых поверхностей, а так же поверхностей более сложных конфигураций. Технология позволяет обрабатывать такие поверхности без изменения структуры основного металла;
 - обработка (или восстановление) плоских всевозможных и сложно плоских поверхностей, не приводящих к изменению геометрических и технологических параметров заготовки;
 - обработка (или восстановление) всевозможных пар трения (оси, валы (коленвалы), шестерни, штоки, плунжерные пары и т.д.). Возможно применение комбинированных покрытий которые уменьшают коэффициент трения до 0,02.
6. В горнодобывающей промышленности.
7. В нефтегазодобывающей и распределяющей промышленности (восстановление, ремонт, упрочнение задвижек разных размеров и конфигураций, различных перепускных и регулировочных клапанов, провенторов, работающих как в обычных так и более агрессивных средах).
8. Обработка всевозможных гидроцилиндров, в том числе штоков амортизаторов, плунжерных пар (топливная аппаратура).
9. Нанесение твердых покрытий на печатные цилиндры, восстановление анилоксовских валов и использованием их в дальнейшем под нанесение в дальнейшем растр (печатные машины ТФР-60-62 и др.).

Получаемое покрытие, в отдельных случаях может заменять покрытия получаемые напылением, а так же методом высокотемпературной диффузии в активных средах, которые требуют дорогостоящего оборудования, значительных затрат электроэнергии и обслуживающего персонала.

Предприятие постоянно совершенствует данную технологию, что позволит еще более расширить качественное нанесение всевозможных комбинированных покрытий. Приглашаем всех к сотрудничеству.

УДК 621.79:658

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Мацевитый В.М., канд. физ.-мат. наук, Казак И.Б., канд. техн. наук, Нижник В.Д.
(г. Харьков, Украина)

The aspects of industrial use of modern vacuum-plasma coating technology are considered.

Характерным признаком развитой экономики государства является конкурентоспособная промышленная продукция, пользующаяся спросом на международном рынке. В основе производства такой продукции, как правило, лежат высокие экологически чистые технологии, которые нетривиальны, сложны и наукоемки. Они не создаются в одночасье, их появлению предшествуют большой интеллектуальный труд многочисленных творческих коллективов.

Украина в силу известных причин за последние 10–15 лет утратила значительную часть своего промышленного потенциала, и ей предстоит его восстанавливать, причем было бы разумно осуществлять это на базе ис-

пользования высоких отечественных технологий. К числу таких технологий, безусловно, относятся методы нанесения вакуумно-плазменных износостойких покрытий, теоретическая и практическая разработка которых была в значительной степени осуществлена еще до кризиса.

Вакуумно-плазменные износостойкие покрытия имеют высокую эффективность при решении по крайней мере двух важных технических проблем:

- существенного повышения работоспособности режущих инструментов;
- обеспечения высокой долговечности деталей тяжело нагруженных узлов трения.

Для обеих этих проблем характерна высокая интенсивность активационных процессов в зоне внешнего трения, т.е. на рабочих поверхностях деталей машин и инструментов, что обуславливает значительную скорость их изнашивания. Защитить рабочие поверхности в этих условиях можно с помощью покрытий на основе соединений, характеризующихся максимальной устойчивостью к внешним воздействиям. Такими соединениями являются карбиды, нитриды и бориды d-переходных металлов, корунд, кубический нитрид бора и другие соединения, которые характеризуются высоким статистическим весом стабильных sp^3 -, s^2p^6 - и d^5 -конфигураций валентных электронов и низкой концентрацией коллективизированных электронов. Современные представления об электронной структуре твердого тела [1] позволяют не только объяснять основные физико-механические свойства сплавов, но и дают теоретическую основу для «конструирования» сплавов с заданными свойствами.

Анализ работы режущих инструментов и специальные исследования [2] показали, что наиболее эффективными покрытиями для инструментов различного назначения являются покрытия, обеспечивающие:

- низкую схватываемость обрабатываемого материала с рабочими поверхностями режущего клина в конкретных условиях резания;
- высокую адгезию с подложкой и удовлетворительную когезионную прочность;
- эффективный барьер для сдерживания диффузионного износа инструмента.

Реализация этих свойств может быть достигнута вакуумно-плазменными методами нанесения износостойких покрытий, которые позволяют плавно регулировать химический состав осажденного слоя, создавать слоистые структуры, обеспечивать высокую адгезию покрытий к инструментальной основе. Есть положительный опыт использования таких покрытий на штамповых инструментах.

Авторами готовится к публикации монография, в которой наряду с проблемой повышения работоспособности инструментов, исследуется возможность существенного улучшения триботехнических характеристик тяжело нагруженных узлов трения, работающих в условиях граничного трения. Вакуумно-плазменная технология износостойких покрытий позволяет в десятки раз повысить износостойкость деталей, функционирующих даже в условиях малоэффективной смазки (топливная аппаратура, гидрообъемные передачи). Для некоторых условий эксплуатации покрытия обеспечивают практически безыносный характер трения, или же один из высших классов износостойкости.

Вакуумно-плазменные технологии позволяют также получать покрытия, эффективно предохраняющие материалы от коррозии, эрозии и других видов поверхностного повреждения.

Одним из существенных достоинств этих технологий является возможность получения указанных покрытий при весьма умеренных (низких) температурах подложки не только на сталях (конструкционных и инструментальных), но также на керамике, стекле и других материалах

В качестве примера эффективной вакуумной технологии приведем основные характеристики метода вакуумно-плазменного электронно-лучевого напыления, который успешно применяется предприятием НПО «Плазма» (г. Харьков).

Этот метод, разработанный НПО «Плазма», сочетает высокую производительность и высокое качество покрытий из широкого круга испаряемых материалов: металлов, их сплавов, оксидов, карбидов, нитридов и других соединений. Высокая прочность сцепления формируемых покрытий с подложкой существенно превышает адгезионные характеристики покрытий, получаемых другими методами. Температура подложек, на которые наносятся покрытия, зависит от параметров технологического процесса и может составлять от 20 до 900 °С, что позволяет использовать широкий спектр материалов, не допускающих нагрева до высоких температур.

Для осуществления метода вакуумно-плазменного электронно-лучевого напыления была модернизирована промышленная установка электронно-лучевого напыления ВУ 2М, при этом увеличение энергии конденсирующихся частиц позволило значительно повысить удельную производительность напыления, а также физико-механические свойства покрытий и прочность сцепления с подложкой. Метод обеспечивает производительность, в восемь раз превышающую производительность электронно-лучевого метода, а также позволяет получать многослойные и композиционные покрытия практически всех материалов, что выгодно отличает его от известного метода КИБ, реализуемого на установках типа «Булат».

Основные технические характеристики установки:

Внутренний диаметр и высота камеры 700 мм.

Количество испарителей: электронно-лучевых – 2шт. по 6 кВт; резистивных – 1 шт.

Вакуум: 6×10^{-4} – 5×10^{-6} мм. рт. ст.

Время достижения рабочего давления в камере – 30 мин.

Максимальная температура нагрева подложки – 1100 °С.

Откачка камеры производится в ручном и автоматическом режимах.

При реализации метода вакуумно-плазменного электронно-лучевого напыления поток пара, вытекающий со

значительной скоростью (до 2000 м/с) из испарительного устройства, содержит ионы, электроны и нейтральные атомы, при этом отсутствует “капельная” фаза.

Высокая степень ионизации испаряемого потока (до 30%) и ускорение ионов под воздействием электрических полей испарительного устройства приводят к значительному повышению кинетической энергии конденсирующихся частиц, что позволяет разрушать поверхностные оксидные пленки на подложке, препятствующие хорошей адгезии покрытий.

Нанесение покрытий на инструментальный материал позволяет создать на поверхности необходимый комплекс свойств с сохранением исходных свойств в объеме инструментального материала. Инструментальный материал с покрытием можно рассматривать как принципиально новый композиционный материал с оптимальным сочетанием заданных поверхностных и объемных свойств.

Метод позволяет получать многослойные покрытия с регулируемым соотношением компонентов, обладающие высокой твердостью, низкой схватываемостью с обрабатываемым материалом во всем диапазоне рабочих температур, устойчивостью против высокотемпературной коррозии и окисления, инертностью к растворению в обрабатываемом материале при высоких температурах, а также сопротивляемостью разрушению. Решению этих задач способствует конструкция тиглей установки, которая дает возможность наносить многослойные покрытия из двадцати различных материалов в одном цикле.

Для согласования свойств материалов покрытия и инструмента необходимо средство кристаллохимического строения, при котором можно обеспечить прочную адгезионную связь между ними, что достигается напылением первого подслоя наиболее подходящим материалом. Оптимальное соотношение основных физико-механических и теплофизических характеристик (модуль упругости, коэффициенты Пуассона, коэффициенты термического расширения, теплопроводности) достигается напылением промежуточного слоя – металлокерамики. Покрытия обладают высокой плотностью, что исключает доступ активных реагентов к поверхности инструментального материала, обеспечивает стабильность толщины и свойств покрытия на рабочих поверхностях инструмента.

На установке можно также получать весьма твердые и кристаллохимически несовместимые с инструментальным материалом покрытия, обладающие наибольшей термодинамической устойчивостью. Эти покрытия способны сохранять достаточную твердость при высоких температурах, имеют повышенную пассивность по отношению к любому обрабатываемому материалу. К таким покрытиям относятся некоторые оксиды (особенно корунд), бориды (особенно борид гафния) и нитриды кремния. Эти системы эффективно сдерживают диффузионные процессы, служат своеобразным термоизолирующим слоем и снижают склонность инструментального материала к коррозии и окислению при высоких температурах.

Одним из важнейших параметров покрытий, оказывающим сильное влияние на работоспособность инструмента, является его толщина. Выбор оптимальной толщины во многом определяется свойствами инструментальной основы.

С одной стороны, толстое покрытие заметно повышает износостойкость инструментальной основы за счет роста твердости, устойчивости против окисления и коррозии, роста пассивности против твердофазных и жидкофазных диффузионных реакций с обрабатываемым материалом. С другой стороны, рост толщины приводит к заметному увеличению количества дефектов в объеме покрытия. Таким образом, толщина покрытия является параметром, подлежащим оптимизации в каждом конкретном случае. На установке ВУ 2М установлен оптический толщиномер, который позволяет контролировать толщину покрытия непосредственно в процессе его нанесения с погрешностью $\pm 0,1$ мкм.

Прочность инструмента является одной из важнейших его характеристик, которая определяет способность контактных площадок инструментов сопротивляться разрушению хрупким скалыванием, выкрашиванием или в результате пластической деформации и последующего среза.

Основной вклад в повышение прочности инструментальных материалов вносит бомбардировка ионами хрома и титана. Усовершенствованный блок питания установки позволяет проводить ионную бомбардировку при напряжении до 1 кВ и токе до 5 А.

Установка используется для эффективного решения проблем работоспособности режущих и штамповых инструментов, узлов трения, повышения коррозионной стойкости деталей и ряда других важных технических задач.

Литература

1. Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Конфигурационная модель вещества.– К.: Наук. думка, 1971. –228 с.
2. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 128 с.

УДК 621.923

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Новикова Л.В.

(г. Харьков, Украина)

In activity the idealized approach to calculation of temperature of cutting is justified. The estimation of veracity of reduced computational relations is made, the capability of their usage for the solution of optimization problems of the theory of cutting

of materials is rotted.

Температура резания – основной параметр процесса резания, определяющий стойкость инструмента, качество и производительность обработки. Его изучению уделено очень большое внимание [1,2]. Накоплен большой экспериментальный материал. Вместе с тем, в теории резания отсутствует простая в инженерном отношении физическая (аналитическая) зависимость для расчета температуры резания.

В наших работах [3,4] предложен упрощенный теоретический подход для ее установления. Учитывая (приближенно), что все образующееся при резании тепло концентрируется в стружке, получена следующая зависимость

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

где $\sigma = P_z / S$ – условное напряжение резания, Н/м²; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; S – площадь поперечного сечения среза, м²; c, ρ – соответственно удельная теплоемкость и плотность обрабатываемого материала.

Исходя из зависимости (1), температура резания θ определяется лишь одним изменяющимся в процессе резания параметром σ . Следовательно, основным путем снижения θ является уменьшение σ . Параметр σ является обобщенным параметром процесса резания, зависящим от силы P_z и площади поперечного сечения среза $S = a \cdot b$: для точения (где a, b – толщина и ширина среза), для шлифования $S = Q / V_{кр}$ (где Q – производительность обработки, м³/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с). При заданном значении S (при фиксированном режиме резания) уменьшить σ и соответственно температуру резания θ можно уменьшением силы P_z за счет повышения режущей способности инструмента, снижения сил трения на передней и задней поверхностях инструмента и т.д.

Произведем количественную оценку зависимости (1). Для этого необходимо знать экспериментальное значение тангенциальной составляющей силы резания P_z и условия обработки (параметры S, c, ρ). Для примера рассчитаем температуру резания θ при точении стали 40 резцом с передним углом $\gamma = 20^\circ$ и углом в плане $\varphi = 60^\circ$ (глубина резания $t = 4$ мм; продольная подача $S_{np} = 0,285$ мм/об; скорость резания $V = 40$ м/мин) [1]. По

экспериментальным данным, тангенциальная составляющая силы резания P_z равна 185 кгс. Тогда $S = \frac{t \cdot S_{np}}{\sin \varphi} =$

1,31 мм²; $\sigma = \frac{P_z}{S} = 141$ кгс/мм²; $c = 0,11$ кал/(г·град); $\rho = 7,86$ г/см³. С учетом того, что 1 кал = 427 кгс·мм,

температура резания θ , рассчитанная по зависимости (1), равна $\theta = 370^\circ\text{C}$.

Данное значение θ приблизительно соответствует экспериментально установленному. Следовательно, пользуясь зависимостью (1), можно в первом приближении рассчитать температуру резания по известному значению силы P_z . Как правило, силу P_z измерить в процессе резания проще, чем температуру θ . Поэтому данная методика упрощает анализ закономерностей процесса резания.

Предложенная зависимость позволяет определить максимально возможную температуру при резании, т.к. не учитывает теплоотвод в режущий инструмент и обрабатываемую деталь (принимается, что все тепло уносится стружкой). С учетом этих двух факторов температура θ уменьшится. Однако, как известно, выделяющееся в процессе резания тепло уносится в основном стружкой (более 50%). Поэтому точность рассчитанных по зависимости (1) значений температуры θ следует оценивать в пределах 60-95%.

Используя зависимость (1), можно решать оптимизационные задачи с учетом ограничений по температуре резания. Для этого, для заданного значения θ , определяется значение σ . Затем, задавая площадь поперечного сечения среза S (т.е. задавая глубину резания t , подачу S_{np} и угол резца в плане φ), определяется предельное значение тангенциальной составляющей силы резания P_z , которое необходимо выдерживать в процессе резания путем подбора характеристик режущего инструмента на основе экспериментальных исследований.

В работе [5] приведены аналитические зависимости для расчета условного напряжения резания.

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2} \right), \quad (2)$$

$$K_{рез} = \operatorname{tg} 2\beta = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma), \quad (3)$$

где $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; P_y – радиальная составляющая силы резания, Н; $\tau_{сдв}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг, Н/м²; β – угол сдвига материала; ψ – условный угол трения на передней поверхности инструмента; $\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения; γ – передний угол инструмента.

При резании лезвийными инструментами обычно $K_{рез} > 1$, при шлифовании – $K_{рез} < 1$. Случай $K_{рез} > 1$ более благоприятный с точки зрения снижения силовой напряженности процесса резания, т.к. с увеличением

$K_{рез}$, исходя из зависимости (2), коэффициент $K = \frac{1}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right)$ и условное напряжение резания σ уменьшаются, табл.1.

Таблица 1

Расчетные значения коэффициента K						
$K_{рез}$	0,1	0,5	1	3	5	10
K	20	4,2	2,4	1,4	1,2	1,1

Коэффициент K с увеличением $K_{рез}$ стремится к единице и при $K_{рез} > 3$ незначительно ее превышает. Поэтому при $K_{рез} > 3$ с определенными допущениями зависимость (2) упростится и примет вид

$$\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв} \approx \sigma_{сж}, \quad (4)$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м².

Тогда зависимость (1) выразится

$$\theta_{min} = \frac{\sigma_{сж}}{c \cdot \rho}. \quad (5)$$

Полученная зависимость содержит лишь характеристики обрабатываемого материала, которые приводятся в справочной литературе. Подставляя их в зависимость (5), можно приближенно рассчитать (оценить) температуру резания θ_{min} , не прибегая к проведению сложных экспериментальных исследований.

Расчитанное таким образом значение θ_{min} является минимально возможным (исходя из того, что все тепло уходит в стружку), т.к. рассчитано для минимального значения коэффициента $K = 1$. Исходя из табл. 1, для шлифования ($0,1 < K_{рез} < 1$) температура резания может быть до 20-ти раз больше, поскольку коэффициент $K \rightarrow 20$. При резании лезвийными инструментами ($1 < K_{рез} < 10$) температура резания может быть всего лишь в 2,4 раза больше минимального значения (при $K = 1$).

Например, для приведенного выше случая – точения стали 40 - $\sigma_{сж} = 60$ кГс/мм². Тогда, исходя из зависимости (5), минимально возможная температура резания равна $\theta_{min} = 162^\circ\text{C}$. По экспериментальным данным, приведенным в работе [1], коэффициент резания для данных условий обработки равен $K_{рез} = 2,9$, соответственно коэффициент $K = 1,4$. Умножая $K = 1,4$ на минимально возможную температуру резания $\theta_{min} = 162^\circ\text{C}$, имеем $\theta = 227^\circ\text{C}$. Полученное значение температуры отличается от ранее установленного $\theta = 370^\circ\text{C}$. Это может быть связано с тем, что экспериментальное значение P_z равно сумме двух сил, возникающих на передней и задней поверхностях резца. Для расчетов по зависимости (1) необходимо учитывать лишь силу, возникающую на передней поверхности резца, которая определяет условия стружкообразования.

Таким образом, предложенный в работе теоретический подход к расчету температуры резания позволяет с единых позиций оценить значения во всем возможном диапазоне изменения коэффициента резания $K_{рез}$, включающем диапазоны абразивной и лезвийной обработки. Это чрезвычайно важное решение, поскольку носит общий характер, имеет базовое (минимальное) значение θ_{min} , по которому можно оценить эффективность применения того или иного метода механической обработки с точки зрения теплонапряженности процесса. Базовое (минимальное) значение θ_{min} легко может быть установлено по зависимости (5) для каждого обрабатываемого материала. Следовательно, на основе этих значений можно оценить обрабатываемость резанием и шлифованием различных материалов.

Литература

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Теплофизика механической обработки: Учеб пособие/ А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. – К.; Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с.
3. Новикова Л.В. Подход к анализу условий теплоотвода из зоны резания. – Вісник Інженерної академії України, вип.3, 2001. – С. 556-558.
4. Новиков Г.В. Расчет и анализ температуры резания при шлифовании. – Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Серия “Новые решения в современных технологиях”. Сборник научных трудов, вып. 75. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 38-43.
5. Новиков Г.В. Энергетический баланс процессов резания материалов. – Фізичні аспекти сучасних технологій: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. Вип. 103. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 71-80.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Дудин А.Т.

(г. Евпатория, Украина)

In activity the versions of new production processes and recovery of rims of ball mills are offered

Зубчатые венцы привода вращения барабана шаровой мельницы имеют диаметр 5–7 м и массу от 16 до 23 т. При износе зубьев до 15 мм дальнейшая эксплуатация зубчатых венцов невозможна.

В настоящее время зубчатые венцы при максимально допустимом износе, определения пригодности венца к восстановлению, восстанавливают методом наплавки.

Венец с модулем зубьев 20, числом зубьев 268, длиной зубьев 800 мм, углом наклона зуба 5–15°, наружным диаметром венца 5410 мм, количеством секторов 2, массой венца 16,5 т наплавляли непрерывно с предварительным подогревом до 200–250 °С в течении 27 суток, израсходовав 2350 кг порошковой проволоки, после этого зубья обрабатывались тремя фрезами: цилиндрической и двумя дисковыми.

Стоимость восстановления зубчатого венца составила в пределах 40% стоимости нового венца.

Приведенная технология восстановления зубчатого венца чрезвычайно трудоемкая, энергоемкая, материалоемкая. Время нахождения зубчатого венца только на непрерывной наплавке составило 27 суток. Кроме того, здесь не указаны время, затраченное на дефектоскопию зубьев; время, затраченное на обработку зубьев после наплавки методом фрезерования; время на демонтаж и монтаж.

Первоначальный износ зубьев начинается от того, что зубья соприкасаются друг с другом не всей поверхностью, а отдельными пятнами на которых в результате повышенного давления возникает сухое трение, которое усиливается в результате попадания абразивных частиц. В результате такого трения на пятне нарушается шероховатость и в дальнейшем износ с этого пятна растет в стороны соприкосновения зубчатых поверхностей. Изношенное пятно имеет более рыхлую поверхность, края которой быстро разрушаются. Кроме того, она больше не собирает абразивной пыли.

Чтобы уменьшить первоначальный износ зубчатого венца и предотвратить разрастание износа из пятна на всю поверхность зуба, при изготовлении зубчатых венцов применим новую технологию.

Зубья венцов шаровой мельницы изнашиваются в основном с одной стороны, поэтому при изготовлении дополнительные затраты будут невелики, а срок службы обработанных зубьев по новой технологии увеличится на 40–70 %.

После окончательного традиционного изготовления зубьев, т.е. чистового фрезерования, рабочую сторону зубьев венца обрабатываем механическим ультразвуковым генератором по слою графитового порошка в переменном высокочастотном магнитном поле. Механический ультразвуковой генератор, произведя удары по рабочей поверхности зуба, вбивает выступы, выравнивает поверхность после фрезерования, т.е. выглаживает ее. Проводя эти действия по графитовому порошку. Он вбивает его во впадины, межзерновые пространства, закрывая послонно металлом. Поверхность зубьев упрочняется за счет уплотнения, наклепа металла, а так же за счет температурного образования графитной пленки на поверхности. Применение переменного высокочастотного магнитного поля служит для лучшего проникновения графита в межзерновые пространства, формирования более равномерной структуры поверхности зубчатого венца. В дальнейшем при эксплуатации зубчатого венца графит будет служить смазкой, что исключит появление сухого трения очень длительное время и продлит срок службы зубьев. Кроме того, чтобы первоначальный износ не распространялся по зубу, на рабочей поверхности зуба лазерным лучом наносим канавки, деля поверхность зуба на сектора, которые остановят рост износа. В канавки рифленой поверхности зубьев вносится тугоплавкая смазка.

В зависимости от материала зубчатого венца и требуемых механических свойств, такую обработку можно проводить на воздухе или в специальных газовых средах при комнатной температуре или с подогревом газовой среды.

Рассмотрим варианты подготовки зубчатого венца к работе.

Вариант 1. Зубчатый венец после фрезерования остается с повышенной шероховатостью, которая не способствует снижению износа и продлению срока службы. Поэтому зубчатый венец обкатывается в порошке графита, который затирается во впадинах и покрывается с выступов слоем металла. После 8–10 часов сухой обкатки с порошком графита происходит притирка поверхности зуба с заполнением впадин графитом, сплавлением поверхностного металла и графита с образованием графитовых пленок.

Для увеличения эффекта обкатки с графитовым порошком, обкатку производим при воздействии переменного высокочастотного магнитного поля.

Вариант 2. Обкатка зубчатого венца с графитовым порошком и подогревом поверхности зуба до 200–400 °С токами высокой частоты.

Вариант 3. Обкатка зубчатого венца с графитовым порошком при воздействии переменных магнитных полей производится с прогревом поверхности зуба газовыми горелками до температуры 200–400 °С.

Вариант 4. Обкатка с графитовым порошком зубчатого венца производится с пропусканием токов через ведомую и ведущую шестерни по методу контактной сварки (но ток несколько ниже), разогревает поверхность, но не дает ей расплавиться. Ток, проходя через контактные поверхности зубьев, выделяет тепло, а графитовый

порошок не позволяет слипаться контактными поверхностями, но сам под давлением заполняет впадины, последовательно закатывается металлом, образуя защитные пленки.

Вариант 5. Обкатка зубчатого венца с графитовым порошком, после которой поверхность зуба обрабатывается лазерным лучом. В результате этого происходит поверхностное сплавление металла и графита, упрочнение металла за счет поверхностной закалки и образования графитовых пленок.

Вариант 6. На поверхности зуба лазерным лучом проплавляются углубления до 0,5-1,0 мм. Плотность их зависит от материала, из которого изготовлен зубчатый венец. Далее зубчатый венец обкатывается в графитовом порошке который заполняет эти углубления и будет предотвращать износ при эксплуатации.

Вариант 7. После обкатки зубчатого венца с графитовым порошком производится поверхностная закалка зубьев токами высокой частоты.

Вариант 8. Поверхность зубьев облицовывается керамическими плитками или углеволокнистыми материалами.

Вариант 9. Поверхность зубьев облицовывается двумя слоями керамических или углеволокнистых материалов, а также смешанных покрытий с токоизолирующими свойствами, что позволит между слоями устанавливать токопроводящие пластины и создавать на ведущей и ведомой шестерне одинаковые по знаку электрические поля. Это значительно снизит поверхностный износ зубьев.

Вариант 10. На ведомой или ведущей шестерни изготавливаются каналы с выходом на контактирующую поверхность зуба, через которые во время контакта подается смазка под давлением.

Рассмотрим варианты восстановления и ремонта изношенных зубьев.

Вариант 1. Зубья, имеющие износ до 5-8 мм, поправляются черновой фрезой и на эти поверхности наклеиваются керамические пластины, содержащие углеводородные волокна.

Такой ремонт зубчатый венец требует после 8-10 лет эксплуатации. Его преимущества заключаются в том, что обработка венца ведется только черновой фрезой с небольшим снятием металла, и после такого ремонта зубчатый венец будет служить два-три срока.

Вариант 2. Изношенные зубья обрабатываются черновой фрезой и на них (на клей, на эпоксидную смолу или припой) ставятся штампованные коронки из высоколегированного материала, которые дополнительно варятся по боковому торцу и корню зуба. Штампованная коронка может быть приварена по рабочей поверхности зуба контактной сваркой, а по торцу и корню зуба приварена дуговой сваркой.

Такой метод восстановления позволяет выполнить восстановление зубчатого венца в кратчайший срок с увеличением срока службы в 1,5-2,0 раза с минимальной затратой материалов и электроэнергии.

Вариант 3. Изношенные зубья обрабатываются черновой фрезой и на них ставится коронка, состоящая из нескольких частей, которые привариваются к поверхности зуба и свариваются между собой. Такие части коронок могут устанавливаться и на клеенно-сварные или паянно-сварные соединения. Окончательная доводка поверхности зуба производится шлифованием.

Такой метод восстановления зуба позволяет лучше закрепить коронку на поверхности зуба, а также вести облицовку с одной стороны поверхности зуба или на участке поверхности зуба.

Вариант 4. Некоторые зубья на зубчатом венце по износу и результатам дефектоскопии к восстановлению не подлежат. Из такого же материала методом отливки и фрезерования изготавливается новый зуб. Изношенный зуб с помощью фрезерования снимается с зубчатого венца, а на его месте устанавливается на ряд шпилек новый зуб. Новый зуб приваривается контактной сваркой корневой поверхностью к зубчатому венцу, обваривается электродуговой сваркой по корню зуба, а так же обвариваются шпильки на вершине зуба. Торцовая поверхность зуба для усиления соединяется с помощью сварки с зубчатым венцом, может так же соединяться профильными пластинами с венцом и соседними зубьями.

Такой метод восстановления зубьев позволяет вернуть зубчатый венец, до этого считавшийся не подлежащим восстановлению, к эксплуатации.

Вариант 5. На зубчатом венце некоторые зубья восстановлению не подлежат. Изношенный зуб снимается фрезой. На его месте с помощью сварки и наплавки ведется монтаж зубьев набором стальных пластин, последовательно их приваривая. Зубья могут быть набраны пакетами зубоформирующих пластин продольными или поперечными, или чередующимися последовательно по длине зуба продольными и поперечными пакетами. Продольные пластины могут монтироваться вертикально по высоте зуба или лежа одна на другую набором, формируя профиль последовательно по высоте. Монтаж пластин может вестись на шпильки с последовательной их обваркой к пластинам и шпилькам. Так же при монтаже пластин применяется сварка электрозаклепками. Сформированный пластинами зуб подвергается наплавке по всей поверхности и формированию поверхности зуба с помощью фрезерования.

Из этого вытекает, что зубья, которые не подлежат восстановлению методом наплавки, можно восстановить сваркой и наплавкой с помощью пакета зубоформирующих пластин, производя их последовательную приварку.

Вариант 6. Не подлежащий восстановлению зуб снимается фрезой. На его место ставится зуб, изготовленный из высоколегированных сталей, выполненный методом штамповки. В пустотелую форму зуба ввариваются пластины, т.е. помещается сотовый наполнитель, который приваривается к оболочке зуба. Сотовый наполнитель обеспечивает сохранение формы и жесткости зуба во время работы. Собранный с помощью сварки зуб тщательно приваривается к зубчатому венцу. Монтаж зуба к венцу может вестись и в другой последовательности: сначала приваривается к зубчатому венцу сотовый наполнитель (каркас), на который монтируется и прива-

ривается оболочка зуба. Предварительно приваренный сотовый каркас может заливаться, например, эпоксидной смолой с наполнителем, а затем монтироваться пустотелый зуб.

При творческом подходе к восстановлению зубьев на зубчатом венце, методы осуществления монтажа могут быть очень разнообразными. Например, к сотовому каркасу, смонтированному на зубчатый венец, оболочку зуба можно варить отдельными пластинами.

Вариант 7. На зубчатом венце, по износу и результатам дефектоскопии, к восстановлению не подлежат (даже методами наплавки) несколько рядом стоящих зубьев. В этом случае венец освобождается от полностью изношенных зубьев, а на их место монтируется сегментный венец (выполненный методом штамповки из ленты высоколегированной стали), пустотелые зубья которого армируются для жесткости пластинами. Между пластинами в зубья может заливаться пластмасса или эпоксидные смолы со специальными наполнителями, или другие материалы. Профильные зубья из ленты привариваются по сегментно по корню зуба к венцу контактной сваркой и сваркой электродзаклепками между зубьями и по боковой поверхности венца – дуговой сваркой.

Такая технология изготовления зубчатых венцов позволит восстанавливать полностью изношенные зубчатые венцы, не подлежащие восстановлению другими методами, легко укладываясь в 40% первоначальной стоимости нового венца, а в дальнейшем позволит изготавливать сварные зубчатые венцы без применения литья и фрезерования. Срок службы таких венцов будет не меньше традиционно изготовленных, а стоить они будут на 40-50 % дешевле.

Для изготовления новых зубчатых колес шаровых мельниц крупногабаритному предприятию требуется 12-16 месяцев. Средний срок их эксплуатации 18 лет. Применяя новые технологии подготовки к эксплуатации, восстановления и ремонта зубчатых венцов, предлагается продлить срок их эксплуатации до 46-50 лет, при этом сократить средства, затраченные на ремонт, на 40-50 %.

Литература

1. Рябцев И.А., Кусков Ю.М., к.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, Маховский Ю.А., Пашенко В.А., ПКФ “Укркомплекс” (Кривой Рог), Розенберг О.А., д.т.н., Рыбак В.Я., к.т.н., ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Восстановление крупногабаритных деталей оборудования горно-обогатительных комбинатов методами дуговой наплавки. – Информационно-технический журнал: Сварщик, № 1(23), 2002. – С. 6-11.

УДК 621.923

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Гришкевич А.В., канд. техн. наук
(г. Сумы, Украина)

In activity the new progressive know-hows dimensional honing are offered.

Для повышения качества ремонта восстановленных и вновь обрабатываемых деталей в ООО “НИИТехМаш” (г. Сумы) разработаны новые прогрессивные технологии размерного суперфиниширования и хонингования, которые эффективно исправляют погрешность формы при достижении высших классов шероховатости. Данные технологии обладают эффектом упрочнения поверхностного слоя, что повышает износостойкость поверхности в 3-4 раза по сравнению с обычными отделочными операциями (суперфиниширование, хонингование).

Разработаны универсальные устройства (головки), которые могут устанавливаться на станках, например, в резцедержателе токарных станков, для финишной обработки гладких и ступенчатых валов, шеек, ограниченных буртами (шеек коленчатых валов), а также внутренних цилиндрических поверхностей с коэффициентом исправления погрешности форм $K_u = \Delta_k / \Delta_u \cong 0,7 \div 0,8$, где Δ_k и Δ_u - соответственно конечная и исходная погрешность внутренней поверхности.

Диапазоны диаметральных размеров заготовок не лимитированы.

1. Хонинговальная головка диаметром 420 мм работает по принципу размерного хонингования. Съем металла происходит за счет радиально-колеблющихся абразивных брусков с последующим выхаживанием алмазным инструментом.

Техническая характеристика:

1. Обрабатываемый размер, мм	400...420
2. Производительность, мм ³ /мин	150...200
3. Частота колебаний, Гц	15...25
4. Шероховатость обрабатываемой поверхности, мкм	0,65...0,32

За счет этого происходит размерная обработка внутренней поверхности с интенсивным исправлением погрешности формы. Коэффициент исправления погрешности формы лежит в пределах 0,7-0,8.

По требованию заказчика хонинговальные головки могут быть выполнены в диапазоне размеров от 100 до 800 мм.

2. Суперфинишная головка с радиально-колеблющимися брусками и автоматической компенсацией износа абразивного инструмента позволяет обрабатывать гладкие и ступенчатые цилиндрические валы со средней и высокой твердостью.

Техническая характеристика:

1. Обрабатываемый размер, мм	30...300
2. Производительность, мм ³ /мин	150...200
3. Частота колебаний, Гц	15...25
4. Шероховатость обрабатываемой поверхности, мкм	0,32...0,08

3. Хонинговальная головка повышенной жесткости. В отличие от известных конструкций, в хонинговальных головках повышенной жесткости алмазные бруски закреплены в пазах двух полуцилиндрических колодок и не имеют самостоятельной свободы перемещений. Колодки шарнирно установлены на корпусе и могут раскрываться под действием клиновых упоров и разжимного клина, посаженного на шток. Благодаря этому, бруски могут разжиматься только комплектом. Приработанные по окружности бруски не вписываются в цилиндр, имеющий погрешность формы в поперечном или продольном сечениях. За счет этого в процессе обработки резко перераспределяется давление на обрабатываемых участках цилиндра и эффективно исправляется имеющаяся погрешность.

Головки повышенной жесткости обеспечивают точность геометрической формы, достижимую лишь притиркой, и сохраняют производительность на уровне процесса хонингования. Коэффициент исправления в продольном сечении составляет 0,4...0,6, а в поперечном – 0,5...0,8. Хонинговальные головки повышенной жесткости успешно применяются на станциях технического обслуживания при ремонте гильз цилиндров.

В зависимости от зернистости инструмента можно обеспечить шероховатость обрабатываемой поверхности в пределах $R_a = 1,25-0,08$ мкм.

4. Электромагнитная суперфинишная головка со следящим приводом износа брусков предназначена для отделочной обработки наружных цилиндрических поверхностей и может быть использована для обработки гладких и ступенчатых валов, штоков, плунжеров, пальцев и других аналогичных деталей, к которым предъявляются повышенные требования по точности формы и качеству поверхностного слоя. Головка обеспечивает стабильную производительность во времени и позволяет проводить размерную отделочную обработку после чистового точения или черного шлифования, минуя операцию чистового шлифования.

В связи с тем, что рычаги колеблются навстречу друг другу, радиальные силы уравниваются, что позволяет обрабатывать нежесткие валы без люнетов и эффективно исправлять погрешности формы в поперечном и продольном направлениях.

Суперфинишная головка снабжена следящей системой, поэтому точность станка не влияет на точность формы детали. Головка устанавливается в резцедержатель токарного станка или на станине шлифовального станка.

Диапазон обрабатываемых материалов: медь–твердый сплав.

К головке может прилагаться генератор для правки алмазных брусков или для работы в режиме электроэрозионной обработки деталей с повышенной твердостью (HRC 50-90).

Основные данные:

1. Диаметр обрабатываемого изделия, мм	20-1000
2. Производительность обработки, мм ³ /мин	150-160
3. Число колебаний бруска f , Гц	10-25
4. Получаемая шероховатость R_a , мкм	0,032-0,080
5. Усилие прижима бруска, кг/см ²	1
6. Прижим инструмента	электромагнитный
7. Электропитание	220 В, однофазное
8. Потребляемая мощность, Вт	100
9. Габаритные размеры	260x200x80
10. Масса, кг	5

УДК 621.923.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК И КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ НАПЛАВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Коломиец В.В., докт. техн. наук, Тимофеева Л.А., докт. техн. наук, Клименко С.А., докт. техн. наук, Волчок И.В., канд. физ.-мат. наук, Фабричникова И.А., Семенцов В.И.

(г. Харьков, Украина)

Heterogeneously built-up materials being cut, an oscillation of contacting loads and contacting stresses takes place which causes an early wear of cutting tools.

При обработке наплавленных материалов, которые имеют макронеровности на наружной поверхности,

внутренние дефекты и неоднородности, контактные нагрузки на передней поверхности инструментов изменяются с большой амплитудой и частотой, зависящей от вида наплавки, физико-механических свойств наплавленного материала и характеристик неоднородности срезаемого слоя. Определение средних значений контактных нагрузок на передней поверхности инструментов по отношению тангенциальной составляющей силы резания P_z к площади контакта [1] не точно отражает действие контактной нагрузки, как разрушающего фактора инструмента. При этом процессе, как и при обработке однородных материалов, удельная сила трения определяется свойствами обрабатываемого наплавленного материала и слабо зависит от условий обработки, если она проводится без применения СОТС. Переменное контактное давление на передней поверхности инструмента зависит как от всех технологических условий обработки, так и от характеристик неоднородности наплавленного материала, основными из которых являются макронеровности на поверхности и нестабильность по твёрдости. Поэтому при обработке неоднородных наплавленных материалов следует определять максимальные и минимальные контактные нагрузки и напряжения, а также частоту их колебания. Максимальное значение контактной нагрузки $q_{N \max}$ можно определить как величину ударного импульса от максимальной макронеровности отнесённой к площади среза, что значительно увеличивает контактную нагрузку на режущую кромку инструмента [2]:

$$q_{N \max} = \frac{P_{z \max}}{a \cdot b}.$$

Минимальные же значения контактных нагрузок определяются по отношению минимальных величин тангенциальной составляющей силы резания $P_{z \min}$ при срезе наплавленного слоя с наименьшей глубиной, т.е. в углублении макронеровности к площади среза:

$$q_{N \min} = \frac{P_{z \min}}{a \cdot b}.$$

Разность между максимальной и минимальной контактной нагрузкой будет определять величину изменения или колебания контактной нагрузки при обработке данного наплавленного материала с его характеристиками неоднородности срезаемого слоя. Величина колебания контактной нагрузки при обработке наплавленных материалов может значительно уменьшаться за счёт применения видов наплавки, дающих минимальные макронеровности или совмещение наплавки с ТМО.

Отличительной особенностью обработки наплавленных материалов от обработки однородных материалов является колебание скорости деформирования срезаемого слоя. Скорость деформации каждого срезаемого элемента, из-за наличия на восстановленной поверхности макронеровностей изменяется от O до $\varepsilon = 10^4 - 10^6 \text{ с}^{-1}$.

Приближённый теоретический расчёт максимальных и минимальных контактных давлений можно произвести из рассмотрения системы колеблющихся сил, действующих в зоне свободного резания на переменную плоскость сдвига (Рис.). Из условия устойчивости этой системы можно записать равенство [3]:

$$q_{N \max} \cdot a_{\min} \cdot \cos(\phi_{\min} - \gamma) = \frac{a_{\min} \cdot \tau_{\phi}}{\sin \phi_{\min}} - q_F \cdot a_{\min} \cdot \sin(\phi_{\min} - \gamma).$$

Отсюда определяется максимальное контактное давление:

$$q_{N \max} = \frac{\tau_{\phi}}{\sin \phi_{\min} \cdot \cos(\phi_{\min} - \gamma)} - q_F \cdot \tan(\phi_{\min} - \gamma).$$

Аналогично для определения минимального контактного давления можно записать следующее равенство:

$$q_{N \min} \cdot l \cdot \cos(\phi_{\max} - \gamma) = \frac{a_{\max} \cdot \tau_{\phi}}{\sin \phi_{\max}} - q_F \cdot l \cdot \sin(\phi_{\max} - \gamma).$$

Из которого аналогично определяется минимальное контактное давление:

$$q_{N \max} = \frac{\tau_{\phi} \cdot a_{\max}}{l \cdot \sin \phi_{\max} \cdot \cos(\phi_{\max} - \gamma)} - q_F \cdot \tan(\phi_{\max} - \gamma).$$

Сила, действующая в направлении сдвига, является также величиной переменной (см. рис.) и может быть определена геометрически

$$F_{\max} = \frac{F_{1 \max} \cdot \cos(\phi_{\max} + \gamma + \eta)}{\cos \eta}$$

Однако определение контактных давлений и сил не учитывает влияния отдельных неоднородностей на силу трения стружки при её движении по передней поверхности. Суммарная сила трения F_{mp} состоит из силы среза адгезионных микроучастков F_{cp} , силы царапания твёрдыми микрочастицами $F_{ц}$, силы выламывания твёрдых микрочастиц $F_{выл}$, силы упругой и пластической деформации $F_{упр}$ и $F_{пл}$ при контактировании микрочастиц под действием силы нормального давления:

$$F_{mp} = F_{cp} + F_{ц} + F_{выл} + F_{упр} + F_{пл}$$

Из приведенных зависимостей максимальных и минимальных контактных давлений от переменных технологических параметров видно, что контактные давления при обработке наплавленных материалов являются также переменными величинами, зависящими от величины макронеровностей, изменения угла сдвига ϕ и переднего угла γ .

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОПОРНОЙ ДЛИНЫ ПРОФИЛЯ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ПРИРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ И ОБРАБОТАННЫХ ТОЧЕНИЕМ

Коломиец В.В., докт. техн. наук, Скобло Т.С., докт. техн. наук,
Власовец В.М., канд. техн. наук, Ридный Р.В.
(г. Харьков, Украина)

Affecting of the modes of the clean sharpening of cborit a size of relative supporting length of surfaces of details of agricultural machines restored by melting is studied, that allows to execute estimation of nature of earning extra money these surfaces.

Повышение надёжности и долговечности отремонтированной техники является одной из главных задач ремонтного производства. Как показал анализ, основной причиной выхода из строя сельскохозяйственных машин является не их поломка, а износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения [1].

Известно, что характеристики качества поверхности деталей, сформированные при технологической обработке, в самом начале работы сопряжённых поверхностей трансформируются из исходного состояния в рабочее или эксплуатационное. Этот период работы, называемый приработкой, характеризуется большой начальной скоростью износа, её постепенным уменьшением и приближением к постоянной, установившейся величине, характерной для рабочего, эксплуатационного состояния. Для увеличения долговечности, как отдельных деталей, так и машины в целом необходимо стремиться к сокращению до минимума величины начального износа, максимального увеличения продолжительности установившегося износа и предупреждение наступления аварийного, усиленного износа. Из трёх характерных периодов работы сопряжённых деталей наиболее важную роль играет период приработки. Б.И. Костецкий [2] показал возможные пути и средства управления приработкой, разделяя их на конструкторско-технологические и эксплуатационные. При этом создание оптимального микрорельефа поверхностей при механической обработке определено им как одно из весьма важных средств влияния на характер и продолжительность периода приработки.

Очевидно, что приработка восстановленных наплавкой деталей, ввиду большой неоднородности поверхностных слоёв, будет отличаться от аналогичной для монолитных деталей. В работах Рыжова Э.В., Клименко С.А., Муковоза Ю.А., Коломийца В.В. и др. [3,4,5] изучались пути и направления технологического обеспечения необходимого качества поверхностных слоёв деталей, восстановленных наплавкой с последующей механической обработкой. Однако этими авторами не изучались возможности технологического влияния на износ в период приработки восстановленных деталей.

Целью настоящей работы было выполнение оценки ожидаемого характера износа поверхности деталей в период приработки, восстановленных наплавкой и обработанных точением резцами из киборита. При этом исследовали влияние режимов резания и величины износа резца по задней поверхности на относительную опорную длину профиля.

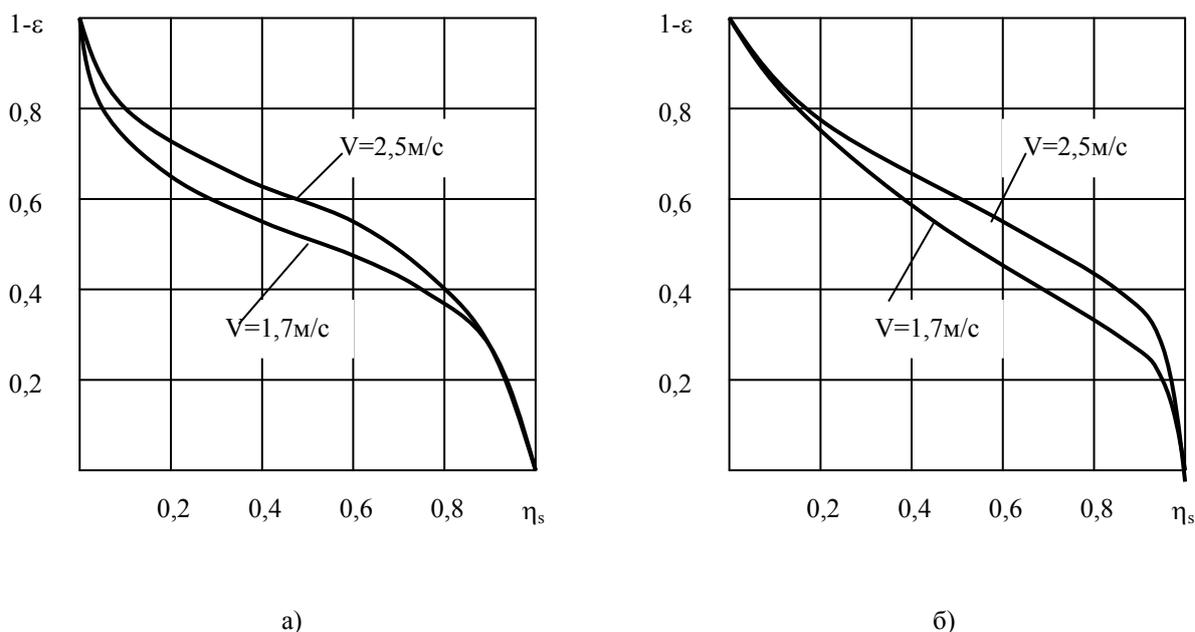


Рис. 1. Влияние скорости резания V на относительную длину опорной линии при подачах: а) $S=0.10$ мм/об; б) $S=0.14$ мм/об.

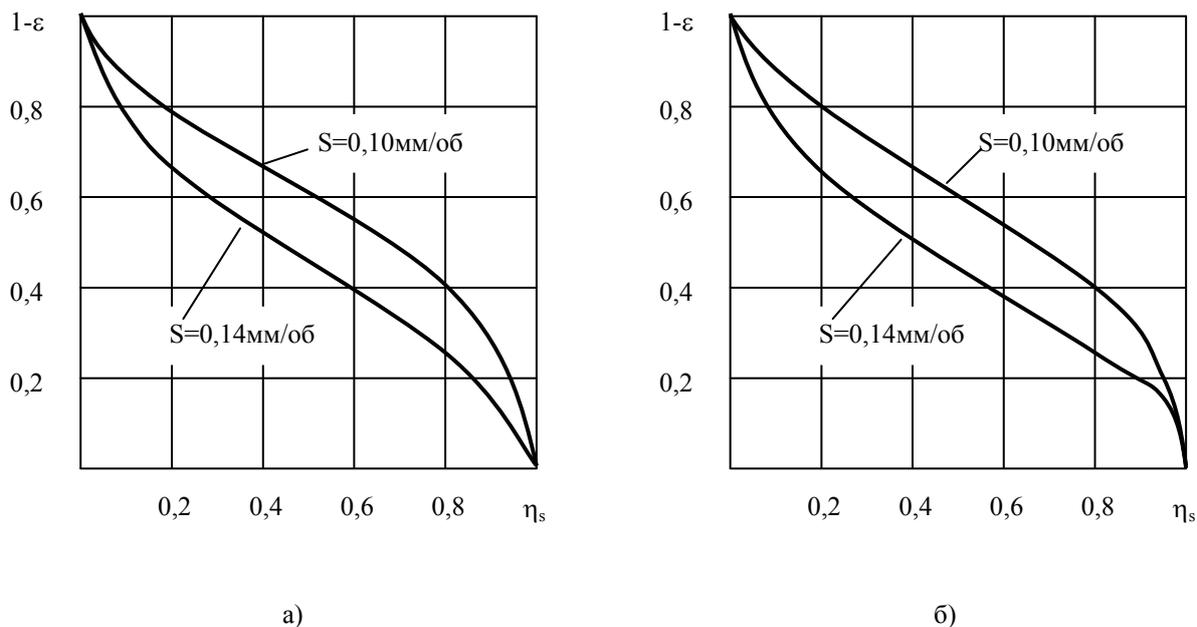


Рис. 2. Влияние подачи S на относительную длину опорной линии при скоростях резания: а) $V=1.7$ м/с; б) $S=2.5$ м/с.

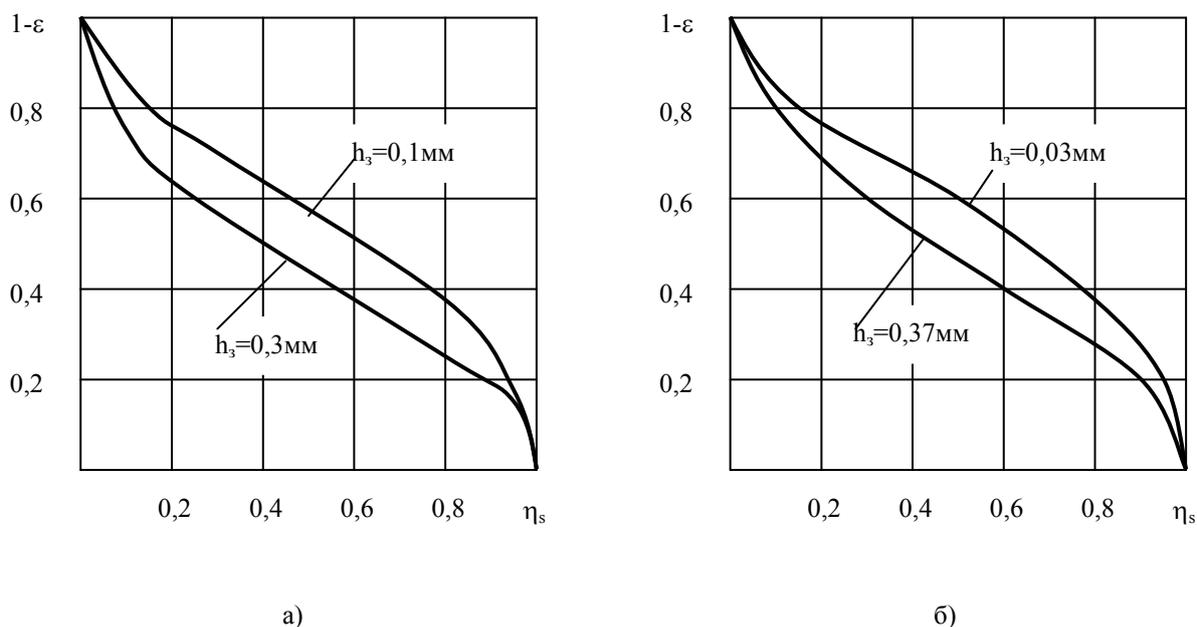


Рис. 3. Влияние износа резца h_3 на относительную длину опорной линии при подачах: а) $S=0.14$ мм/об; б) $S=0.12$ мм/об.

В качестве объекта исследования были приняты цилиндрические поверхности восстановленных штоков гидроцилиндров сельскохозяйственных машин, наплавленных электродуговым способом в среде CO_2 низколегированной проволокой Нп-30ХГСА после чистовой обработки резцами из СТМ без СОЖ.

Относительную площадь опорной поверхности оценивали по параметрам:

$$\varepsilon_i = \frac{a_i}{\bar{H}_{max}}$$

где: ε_i - относительное сближение на данном уровне; a_i - уровень, отсчитанный по профилограмме от линии \bar{H}_{bc} , мм; \bar{H}_{max} - математическое ожидание максимальной высоты профиля, мм.

$$\eta_{si} = \frac{\Delta L_i}{L}$$

где: η_{si} - относительная опорная длина профиля на данном уровне; ΔL_i - сумма длин отрезков профиля на данном уровне, мм; L - суммарная длина профилограмм измеряемых участков, мм.

Точение наплавленных поверхностей проводилось согласно спланированного эксперимента, для получения эмпирических зависимостей показателей качества поверхности от факторов, оказывающих наибольшее влияние на параметры микрогеометрии поверхности: режимы резания (скорость резания V и подача S), а также износ реза по задней поверхности h_z . Интервалы варьирования факторов были следующими: скорость резания $V=1,4-2,8$ м/с, подача $S=0,09-0,15$ мм/об, износ реза по задней поверхности $h_z=0,03-0,37$ мм. Глубина резания не принималась во внимание по той причине, что при чистовом точении на микрогеометрию поверхности она существенного влияния не оказывает.

Влияние режимов резания и величины износа реза по задней поверхности на стандартные и нестандартные параметры шероховатости был рассмотрен нами ранее [6,7]. В настоящей работе приведены результаты изучения влияния условий чистового точения на относительную опорную длину профиля.

Анализ результатов исследования относительной опорной длины η_s показал, что несущая способность поверхностей, обработанных с различными значениями скорости V , подачи S и величины износа реза h_z существенно отличается (Рис. 1...Рис. 3).

Увеличение скорости резания всегда приводит к возрастанию относительной опорной длины, что объясняется уменьшением высоты микронеровностей (Рис. 1.): при $V=1,7$ м/с $\eta_s=0,1$; при $V=2,5$ м/с $\eta_s=0,25$.

Увеличение подачи приводит к увеличению шага неровностей, что уменьшает количество выступов на единицу длины и неизбежно вызывает уменьшение относительной опорной длины (Рис. 2.): при $S=0,1$ мм/об $\eta_s=0,32$; при $S=0,14$ мм/об $\eta_s=0,16$. Изменение величины износа реза по задней поверхности вызывает значительное изменение относительной опорной длины (Рис. 3): при $h_z=0,1$ $\eta_s=0,27$; при $h_z=0,3$ $\eta_s=0,16$. Объясняется это тем, что увеличение износа h_z после его оптимального значения ($h_z=0,20...0,25$) ведёт к возрастанию составляющей силы P_y и повышению интенсивности её колебаний, что вызывает возрастание высоты микронеровностей и следовательно уменьшение относительной опорной длины.

Таким образом увеличение скорости резания до значений $V \geq 2,5$ м/с, снижение величины подачи до значений $S \leq 0,10$ мм/об при условии соблюдения допустимых величин износа реза по задней поверхности h_z не более 0,25 мм обеспечит при прочих равных условиях существенное увеличение относительной опорной длины профиля. Это приведёт к увеличению фактического пятна контакта трущихся деталей и обеспечит сокращение периода приработки, уменьшение износа и увеличение срока службы деталей сельскохозяйственных машин восстановленных наплавкой.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что в процессе приработки возрастание площади опорной поверхности, а следовательно и понижение скорости износа будет наиболее интенсивным у поверхности (на уровне 30-40 % от R_{max}). Поэтому на эксплуатационные свойства поверхностей восстановленных деталей решающее влияние оказывает именно характер неровностей, расположенных на уровне 30-40 % от верхнего уровня R_{max} .

Проведенные исследования показали возможность оптимизации параметров резания и допустимого износа реза, при чистовой обработке восстановленных наплавкой деталей сельхозмашин. Эти параметры обеспечивают образование поверхностей с наибольшей опорной площадью, что при прочих равных условиях обеспечит большую работоспособность восстановленных деталей.

Полученные результаты планируется использовать при выборе параметров технологического процесса механической обработки восстановленных наплавкой деталей сельскохозяйственных машин с использованием низколегированной, малоуглеродистой наплавочной проволоки Нп-30ХГСА, при котором до минимума сводится время приработки.

Литература

1. И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. Основы расчётов на трение и износ. –М.: «Машиностроение», -1977. –528с.
2. Костецкий Б.И. и др. Надёжность и долговечность машин. –Киев: «Техніка», -1975. –408с.
3. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наукова думка, 1989. –272с.
4. Клименко С.А., Муковоз Ю.А. Высокопроизводительная обработка наплавленных деталей. – Киев: Общество «Знание», 1985. –20с.
5. Коломієць В.В. Научні основи теорії обробки неоднорідних наплавлених матеріалів: Дис...д.т.н. – Київ: КПІ, 1993. – 474 с.
6. Ридный Р.В. Влияние параметров процесса точения киборитом на нестандартные характеристики микрогеометрии поверхностного слоя наплавленного проволокой Нп-30ХГСА. / Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Сб. научн. трудов. Вып. 14. –Харьков: ХГТУСХ, 2003. –286-290с.
7. Ридный Р.В. Исследование качества поверхности деталей,восстановленных наплавкой и обработанных точением. / Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Сб. научн. трудов. Вып. 15. – Харьков: ХГТУСХ, 2003. –174-179с.

УДК 691.91.01

ДРОБЕСТРУЙНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**Солнцев Л.А., канд. техн. наук, Мощенок В.И., канд. техн. наук,****Лалазарова Н.А., канд. техн. наук***(г. Харьков, Украина)*

The rising efficacy of machining to high-strength cast iron can be reached by shot blasting of hard-carbide tool. Shot blasting increase strength and resistance of tools for high-strength cast iron with different hardness.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) находит всё более широкое применение во всём мире в качестве материала для деталей автомобилей, тракторов, комбайнов. ВЧШГ сочетает технологичность серого чугуна с комплексом свойств более высоких, чем у ковкого чугуна и в ряде случаев даже литой и кованой стали [1]. Благодаря наличию большого количества структур металлической матрицы, которые создаются различными видами термической обработки, высокопрочный чугун может иметь разнообразный комплекс свойств. В настоящее время находят применение чугуны с различным комплексом свойств (ДСТУ 3925-99): 140-360 НВ, $\sigma_g=350-1000$ МПа, $\sigma_{0,2}=230-700$ МПа, $\delta=2-22$. Однако в нашей стране доля ВЧШГ в общем объёме литья на порядок ниже, чем в США, Японии, Германии.

Одной из причин низких темпов внедрения ВЧШГ является его пониженная обрабатываемость резанием твердосплавным инструментом. Твердосплавный инструмент составляет наиболее многочисленную группу среди инструментальных материалов, применяемых при обработке высокопрочных чугунов.

Резцы при обработке ВЧШГ изнашиваются как по задней (фаска износа), так и по передней поверхности (лунка износа), имеет место также размерный износ. Эта схема износа твердосплавных резцов характерна при обработке всех высокопрочных чугунов. Высокопрочные чугуны отличаются значительной степенью неоднородности, как по структуре (наличие твёрдой неоднородной металлической матрицы и мягких графитовых включений), так и по химическому составу (ликвация химических элементов, особенно кремния), что способствует интенсификации усталостного изнашивания твёрдых сплавов, в частности ВК8.

При черновом и полувальцовом точении ВЧШГ ВК8 наблюдается выкрашивание режущих кромок, изношенные поверхности покрыты сетью микротрещин, развитие которых приводит к сколам. Изнашивание твердосплавного инструмента в области больших скоростей происходит или в результате усталостного разрушения зёрен карбидов, с изнашиваемой поверхности которых удаляются мелкие частицы, или за счёт удаления зёрен карбидов в результате усталостного разрушения связи [2].

Эффективность обработки высокопрочного чугуна резанием в значительной степени определяется качеством изготовления инструмента, в частности, параметрами поверхностного слоя деталей инструмента (шероховатостью, структурой, остаточными напряжениями). Наилучшим способом повышения эффективности работы твердосплавного инструмента является введение дополнительных отделочно-упрочняющих операций (термическая обработка, химико-термическая обработка, виброабразивная обработка, дробеструйная обработка и т. д.). Этот способ хотя и связан с дополнительными затратами, но он позволяет более гибко управлять микрогеометрическими параметрами инструмента, эффективно повышать его качество.

В процессе виброабразивной и дробеструйной обработки обеспечивается изменение геометрических характеристик поверхности лезвия (скругление режущих кромок, изменение параметров шероховатости, формы и анизотропности рельефа) и происходит пластическое деформирование поверхностного слоя: изменение структуры и физических характеристик (фазового состава, степени наклёпа и остаточных макронапряжений во всех фазовых составляющих твёрдого сплава) [3].

В настоящее время наиболее распространённым методом является виброабразивная обработка. В результате данной операции обеспечивается скругление режущих кромок, уменьшение параметров шероховатости поверхностей лезвия, образование в поверхностном слое твёрдого сплава сжимающих остаточных напряжений, что повышает прочность и усталостную прочность твёрдого сплава, уменьшает количество выкрашиваний режущих кромок. Изнашивание инструмента носило адгезионно-усталостный и абразивный характер, что подтверждается рельефом изношенных поверхностей. Период приработки выражен в большинстве случаев чётко. Период катастрофического износа не обнаружен ни на одной кривой изнашивания. Кинетика изнашивания характеризовалась значительными циклическими колебаниями изнашивания на протяжении периода стойкости.

Виброабразивная обработка (ВО) оказывает влияние на прочность и, в связи с этим, на стойкость инструмента вообще. Максимум стойкости соответствует радиусу округления режущей кромки 15 мкм при исходном 10 мкм. Дальнейшее увеличение радиуса округления режущей кромки приводит к снижению периода стойкости (например, увеличение радиуса до 70 мкм снижает стойкость в 1,9 раз) при точении нормализованного чугуна. При радиусе округления 15 мкм наблюдается также наименьшее рассеивание периода стойкости. Снижение рассеивания стойкости при скруглении лезвий связано, очевидно, с подавлением выкрашивания режущих кромок, которые вызывают повышенное рассеивание стойкости. Радиус округления 15 мкм рекомендуется применять при обработке чугунов с различной структурой металлической матрицы. Эффект от снижения рассеивания стойкости особенно заметен при точении чугунов с высокой степенью неоднородности. Например, при точении литого чугуна, имеющего высокую степень неоднородности, твёрдым сплавом ВК8 после ВО наблюдается снижение рассеивания в 1,9 раза по сравнению с использованием твёрдого сплава не подвергнутого ВО. Износ округлённого инструмента носит более равномерный и стабильный характер не только у различ-

ных инструментов, но и по длине режущей кромки. Таким образом, подтверждается полезность небольшого округления, сопряжённого с повышением качества режущих поверхностей и кромок. В результате испытаний на прочность (на разрушающую подачу) максимум прочности наблюдается при радиусе округления 20 мкм.

Дробеструйное упрочнение повышает прочность инструмента при точении всех чугунов. Особенно оно эффективно при обработке чугуна с мартенситной структурой. Максимум прочности наблюдался при обработке дробью в течение 80 с и соответствовал увеличению прочности в 1,4 раза. Это связано с возникновением остаточных напряжений сжатия, повышающих прочность твёрдого сплава и, соответственно, разрушающую подачу. Дробеструйное упрочнение твердосплавного инструмента является эффективным средством повышения обрабатываемости ВЧШГ за счёт небольшого округления лезвия и создания остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое. При точении нормализованного чугуна твёрдостью 270-280 НВ с глубиной резания – 2 мм, подачей – 0,52 мм/об, скорость резания – 3,2 м/с наблюдалось значительное повышение надёжности инструмента (таблица 1).

Таблица 1

Результаты испытаний резов, упрочнённых дробью

№ показателя	Показатель надёжности инструмента	Без упрочнения	С упрочнением	Изменение показателя
1	Средний период стойкости, мин	24	31	1,3
2	Коэффициент вариации стойкости	0,52	0,37	1,4
3	Среднее число периодов стойкости	2,1	3,5	1,7
4	Средний полный период стойкости, мин	50,1	108,5	2,2

Нужно отметить, что возросла как безотказность инструмента, связанная, в основном, с его износостойкостью, так и его долговечность, связанная, в основном, с прочностью. Однако в данном случае рост долговечности оказался больше, чем безотказности.

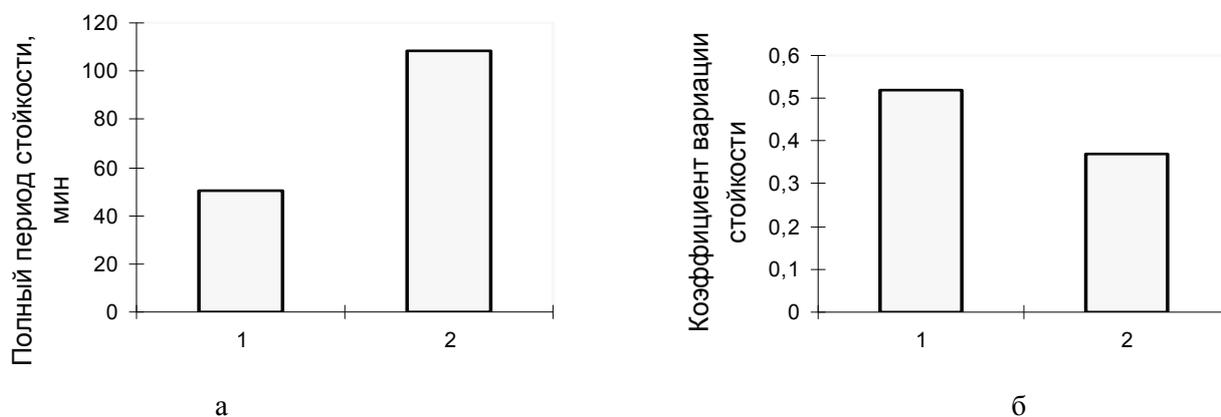


Рис. 1 Повышение показателей долговечности (а) и безотказности (б) инструмента: а - полного периода стойкости; б - коэффициента вариации стойкости. 1 - инструмент в состоянии поставки; 2 - после обработки дробью.

Таким образом в результате дробеструйного упрочнения существенно увеличиваются показатели надёжности инструмента: растёт стойкость и число периодов стойкости, повышается стабильность работы упрочнённого инструмента. При обработке ВЧШГ эффект от виброабразивной обработки твердосплавного инструмента значительно меньше, чем от дробеструйной. Это связано, вероятно, с тем, что при виброабразивной обработке имеет место значительное округление режущих кромок, а оптимальный радиус округления при обработке чугунов невелик.

Литература

1. Солнцев Л.А., Зайденберг А.Ф., Малый А.Ф. Получение чугунов повышенной прочности. -Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986.-152 с.
2. Гуревич Д.М. Адгезионно-усталостное изнашивание твердосплавного режущего инструмента // Вестник машиностроения. – 1986. - №5. – С. 43-45.
3. ХаеТ Л.Г., Гах В.М., Черномаз В.Н. Формирование поверхностного слоя при отделочно-упрочняющей обработке твёрдых сплавов // Сверхтвёрдые материалы. – 1984. - №6. – С. 43-49.

УДК 621.91.678.5

ИЗНАШИВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ РЕЗЦОВ ПРИ ТОЧЕНИИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Корниль Т.Л., канд. техн. наук, Хавин Г.Л., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The physical aspects of wearing process for cutting tools which wearing along back surface for fiberglass machining are considered. The wear is sequent of abrasive effect with elastic restoring of glass braids which had been cutting. The Archard's linear law of abrasive wearing for described of this process is proposed.

Экспериментальными исследованиями [1-3] установлено, что при точении стеклопластиков доминирующим видом износа является абразивный износ. При этом отсутствие адгезионного износа объясняется отсутствием химического сродства обрабатываемого и инструментального материала, отсутствие диффузионного износа – температурой в контакте, которая не достигает значений диффузионного износа.

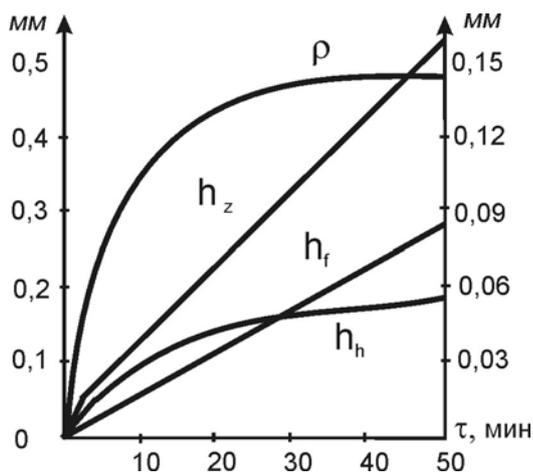


Рис.1. Зависимость износа режущей кромки резца от продолжительности резания при точении стеклопластиков [4]: h_z, h_f, h_h - износ по задней, передней кромке и смещение режущей кромки соответственно; ρ - радиус закругления режущей кромки.

Износ инструмента протекает не только по задней поверхности [1-4], но и за счет округления режущей кромки с образованием отрицательного переднего угла. Исследование профиля режущей кромки различными исследователями показало, что кривая сопряжения передней и задней поверхностей близка к дуге окружности. Поэтому большинство авторов при выводе аналитической зависимости для величин износа по передней, задней поверхности и для смещения режущей кромки использовали для описания поверхности сопряжения радиус вписанной окружности ρ .

В результате проведенных наблюдений и измерений получены классические зависимости для величин износа, представленные на рис.1 [4]. Однако абсолютное большинство исследований показало, что основным элементом, характеризующим износ резца при точении стеклопластика, является величина износа по задней поверхности. Причем эта величина вместе с изменением радиуса округления претерпевает наиболее сильные изменения с увеличением продолжительности точения.

Физические наблюдения показывают [4], что износ инструмента проявляется в виде характерных штрихов по задней поверхности резца. Наиболее интенсивно, особенно в первое время работы, изнашивается место перехода от главной режущей кромки к вспомогательной. При этом в первые минуты работы происходит наиболее интенсивный износ, вплоть до появления небольших выкрашиваний. По мере

дальнейшей работы режущая кромка смещается параллельно самой себе, режущая кромка выравнивается, и после этого появляется износ по вспомогательной режущей кромке, который совместно с износом по главной режущей кромке приводит к смещению резца.

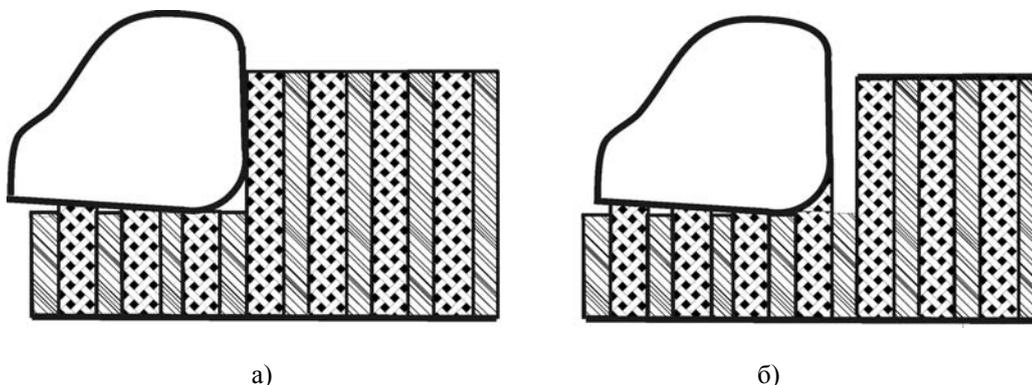


Рис.2. Контактное взаимодействие инструмента со срезанными жгутами волокон стеклопластика: а – перед началом разрушения жгута; б - в момент окончания разрушения.

Рассмотрим явление изнашивания инструмента как следствие процесса циклического зарождения, роста и старта трещины разрушения [5], которая возникает в месте контакта передней кромки инструмента и жгута. Разрушение жгутов (волокон) вследствие движения магистральной трещины (макротрещины) всегда происхо-

дит под некоторым углом к направлению армирования и носит смешанный характер среза-отрыва. При этом связующее между волокнами (жгутами) выкрашивается или настолько растрескивается, что механического сопротивления не оказывает. Используя это наблюдение можно сделать вывод, что при резании стеклопластика его местное сопротивление определяется развитием трещин в жгутах (волокнах). Упругое отжатие или восстановление слоя обрабатываемого материала это следствие вдавливания разрушенных жгутов (волокон) в матрицу.

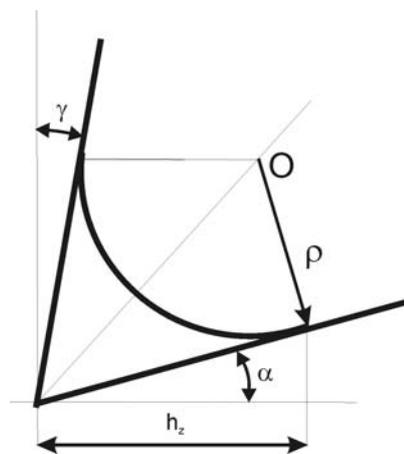


Рис.3. Величина износа по задней поверхности инструмента.

Фактический механизм изнашивания инструмента может быть трактован следующим образом. Инструмент по задней поверхности все время контактирует со срезанными концами жгутов (стекловолокон). При этом по мере движения инструмента, срезанные жгуты, за счет упругого восстановления, все время поджимаются к задней поверхности инструмента, рис.2а, пока не выйдут из контакта. Наиболее сильное абразивное воздействие оказывают жгуты (волокна) только что разрушенные трещиной, рис.2б. Острые края стекловолокон обламываются наезжающим инструментом, и жгут вдавливается внутрь обрабатываемого материала. С одной стороны это имеет положительный эффект зачистки поверхности, с другой усиливает абразивный износ инструмента.

Величина износа по задней поверхности обычно трактуется как уменьшение линейного размера по одной из координат, рис.3 [1,4]. Фактически же износ это удаление материала инструмента в направлении перпендикулярном направлению взаимного проскальзывания контактирующих тел. Поэтому будем называть далее износом по задней поверхности процесс удаления поверхностного слоя материала в направлении нормали к задней поверхности. При этом представим обработанную поверхность как абразивный круг, в качестве зерен в котором выступают срезанные стекловолокна.

Учитывая, что износ инструмента по задней поверхности носит абразивный характер, в качестве закона изнашивания можно принять линейный закон Арчарда [6], который может быть записан в виде:

$$h_z(x, t) = K \cdot V \int_0^t p(x, \tau) d\tau, \quad (1)$$

где $h_z(x, t)$ - значение величины износа в некоторой точке x задней поверхности за время t , мм; V - скорость скольжения, м/с; $p(x, \tau)$ - контактное давление, МПа; K - коэффициент изнашивания, включающий в себя параметры, не зависящие от времени. Линейный характер зависимости скорости изнашивания от контактного давления имеет место при абразивном изнашивании, когда разрушение поверхности трения происходит под воздействием острых выступов и твердых частиц, присутствующих в зоне трения. На значение коэффициента изнашивания в первую очередь влияют характеристики взаимодействующих материалов, их микрогеометрия, температура и присутствие третьих тел.

Работа выполнена в рамках проекта М2305 финансируемого министерством образования и науки Украины.

Литература

1. Семко М.Ф., Сустан Г.К., Дрожжин В.И. Обработка резанием электроизоляционных материалов. – М.: Энергия, 1974.- 176 с.
2. Штучный Б.П. Обработка резанием пластмасс. – М.: Машиностроение, 1974.- 144 с.
3. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. –Л.: Машиностроение. Ленигр. отд-ние, 1987.- 176 с.
4. Руднев А.В., Королев А.А. Обработка резанием стеклопластиков. – М.: Машиностроение, 1969.- 119 с.
5. Хавин Г.Л. Резание композиционных стеклопластиков с позиций механики разрушения // Вестник НТУ «ХПИ».- Харьков: НТУ «ХПИ», 2002.-т.11, №9.- С.97-103.
6. Горячева И.Г., Добычин М.Н. Контактные задачи в трибологии. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.

УДК 658.512.011.56.001.52

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ ДЕТАЛЕЙ В ИНТЕГРИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Моргун Б.А., Клещёв Г.М., Захаров В.И., Янковский О.Г., Тищенко И.А.
(г. Одесса, Украина)

Described creation intelligent integrated computer system mechanitreat production.

Современные экономические отношения требуют индивидуализации производимых изделий, которые заставляют производителей обращаться к более гибким методам обработки, позволяющим чаще перестраивать производство, затрачивая на это минимум времени. В связи с этим возникла необходимость в технически гиб-

ких механизмах и системах управления, позволяющих повысить производительность при мелкосерийном производстве, для которых традиционные методы автоматизации непригодны.

Поэтому, с одной стороны, наблюдается усложнение конструкции и математического аппарата, описывающих эти процессы, а с другой стороны, имеется необходимость упрощения этого же аппарата для понимания и доступности.

На основании изложенного, в докладе предлагается многоуровневая модель управления гибкой многономенклатурной роторной обработкой деталей. Кинематика роторного механизма состоит из вращающегося загрузочного многоуровневого устройства ($A^1_0 \div A^n_0$), вращающихся транспортных (каруселей) устройств ($A_1 \div A_n$), с обрабатываемыми механизмами M , расположенными по горизонтали по длине участка (цеха) на N уровнях по вертикали. Отсюда многодольная B -сеть, составленная по эквивалентной модели управления гибкой многономенклатурной системы, состоящей из M механизмов по горизонтали и N кадров по вертикали, является пространственной B -сетью.

Настройка и управление такой гибкой многоуровневой и многономенклатурной автоматизированной системой чрезвычайно сложны, но и весьма эффективны, т. к. на относительно небольшой по размерам площади можно обрабатывать небольшие партии деталей по размерам и большое количество по номенклатуре.

Многодольная пространственная B -сеть позволяет управлять и диагностировать любые уровни по горизонтали и по вертикали. Из многодольных B -сетей можно составить как плоскостные по горизонтали и вертикали, так и пространственные системы матриц, например, для учёта количества обрабатываемых деталей в каждой номенклатуре, учёта общего количества деталей, трудоёмкости отработки, станкоёмкости, расчёта энергопотребителей, количества необходимого инструмента, запасных частей спутников и т. п.

По теории профессора Н. П. Соколова о пространственных (объёмных, многомерных) матриц и порождаемых ими детерминантов высших измерений, некоторая система из n^2 элементов A_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$), взятая в числовом поле P и расположенная в точках плоскости с декартовыми прямоугольными координатами i, j называется двумерной (квадратной) матрицей n_{-20} порядка на поле P , а любая система из n^3 элементов $A_{i, j, k}$ ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$) поля P , расположенная в точках трёхмерного пространства, определяемых координатами i, j, k , называется трёхмерной (кубической) матрицей n_{-30} порядка над P .

Таким образом, в данном случае применена теория пространственных матриц, по которой любая система из n элементов (A_{i_1}, i_2, \dots, i_p ($i_1, i_2, \dots, i_p = 1, 2, \dots, n$)) поля P , расположенных в точках p -мерного пространства, определяемых координатами i_1, i_2, \dots, i_p , образует p -мерную матрицу n_{-20} порядка над P :

$$A = (A_{i_1, i_2, \dots, i_p}) \quad (i_1, i_2, \dots, i_p = 1, 2, \dots, n). \tag{1}$$

Матрица называется пространственной, если число измерений её p можно предполагать каким угодно числом, большим двух.

Применение в пространственных (объёмных) матрицах многодольных B -сетей даёт возможность упрощать математический аппарат, группируя различные значения узловых величин в пространстве методом сечения этого пространства по соответствующим измерениям, приходя к двумерной (квадратной, прямоугольной) матрице n_{-20} порядка на поле P . А в двумерной матрице $A_{i, j}$, имеющей большую размерность, возникает необходимость в декомпозиции, распараллеливании решения линейных уравнений и приведения, в конечном счёте, к виду блочно-диагональной матрицы с окаймлением, что позволяет решать системы уравнений по частям.

Пользуясь двумерными сечениями, можно записать пространственную матрицу в виде квадратной или прямоугольной таблицы. Двумерные сечения при этом отделяются друг от друга вертикальной или горизонтальной чертой. Так, например, кубическая матрица второго порядка с помощью сечений ориентации (i, j) может быть записана в виде прямоугольника:

$$\left| \begin{array}{cc|cc} A_{111} & A_{112} & A_{211} & A_{212} \\ A_{121} & A_{122} & A_{221} & A_{222} \end{array} \right| \begin{array}{l} \xrightarrow{\quad} (i) \\ \downarrow (j) \end{array} \tag{2}$$

а матрица (1) при $p=4$ и $n=2$ с помощью сечений ориентации (i, j) - в виде квадрата:

$$\left| \begin{array}{cc|cc} A_{1111} & A_{1112} & A_{1211} & A_{1212} \\ A_{1121} & A_{1122} & A_{1221} & A_{1222} \\ \hline A_{2111} & A_{2121} & A_{2211} & A_{2212} \\ A_{2121} & A_{2122} & A_{2221} & A_{2222} \end{array} \right| \begin{array}{l} \xrightarrow{\quad} (i) \\ \xrightarrow{\quad} (i) \\ \downarrow (j) \\ \downarrow (j) \end{array} \tag{3}$$

где строки указывают направление, в котором возрастают соответствующие индексы.

Данные теоретические выкладки успешно применялись при конструкторско- технологической подготовке производства и изготовления деталей штампов холодной листовой штамповки, а также при создании гибких автоматизированных линий.

В общем виде математическая модель управления имеет вид:

$$A=F(P,D) , \quad (4)$$

где A - автоматизированное создание изделий; P - автоматизированная подготовка производства; D - автоматизированное изготовление деталей.

Приведенная информация по теоретическим разработкам с использованием пространственных матриц и их практическое применение в автоматизации производственных процессов полезна создателям сложных систем массового обслуживания.

Литература

1. Ядыкин И. В. и др. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат. 1985
2. Клещев Г. М. и др. Проблемы внедрения технологий будущего- интегрированных адаптивных систем в среде рыночной экономики. Киев. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении. Материалы конференции. 5-7 сентября 1995 года
3. Моргун Б.А., Клещев Г.М., Тихенко В.Н. и др. Интегрированные системы подготовки производства и гибкого многономенклатурного изготовления изделий. Международная научно- методическая конференция “Автоматизация проектирования и производства изделий в машиностроении” Сумы, 1995.

УДК 621.91

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ X12M ПРИ ПОМОЩИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ.

Сизый Ю.А., док. техн. наук, Погребной Н.А., канд. техн. наук, Волков О.А.

(г. Харьков, Украина)

This paper presents the X12M steel thermofriction process (TFP) influence investigation methods under hardening condition. The sample cross-section hardness distribution graphics and microstructures photos after TFP are reported. Same conclusions are made of the effect of the TFP method.

Важной задачей для современного машиностроения является внедрение прогрессивных методов обработки, которые позволяют создавать материалы с повышенными прочностными характеристиками.

Специфическими условиями довольно распространенных процессов механической обработки, таких как фрезерование, определяют целесообразность применения метода термофрикционной обработки. Этот метод в настоящее время является одним из важнейших средств повышения производительности труда при изготовлении деталей из углеродистых, коррозионностойких сталей, труднообрабатываемых сплавов и чугунов. Обработка ведется круглым режущим диском, имеющим высокую стойкость. Нагрев зоны резания осуществляется одним из простых методов – сила-

Режим ТФО: $S=10$ мм/с; $t=0,7$ мм

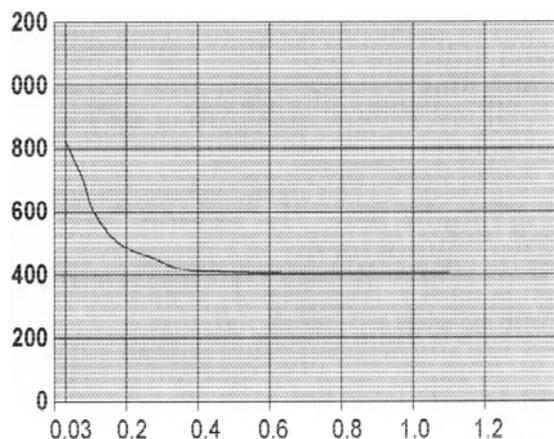


Рис.1. Распределение твердости по глубине образца из стали X12M в исходном состоянии после ТФО.

Режим ТФО: $S=10$ мм/с; $t=0,7$ мм



Рис.2. Микроструктура стали X12M в исходном состоянии после ТФО.

ми трения. Для ТФО можно использовать выпускаемое станкостроительное оборудование без каких либо конструктивных изменений.

Метод ТФО используется как метод резания, а возможно и очевидно, что он может быть использован, как весьма эффективный метод упрочнения. Использование трения для получения поверхностей деталей с заданными механическими свойствами позволяет увеличить срок службы деталей машин.

Исследования проведенные на образцах из стали 15Х11МФ наглядно подтвердили эффективность данного метода как упрочняющего. Эти результаты были представлены на конференциях и опубликованы в статьях. Однако для того чтобы убедиться в эффективности метода ТФО применительно к другим материалам была выбрана для эксперимента сталь Х12М. Эта сталь является инструментальной и на машиностроительном заводе ФЭД применяется для гибочных штампов.

Изучены микроструктуры (рис. 2, 4) из которых видно, что после ТФО на определенных режимах в поверхности образцов возникает слой с измененной структурой, твердость которой выше твердости основного металла.

Режим ТФО: $S=10$ мм/с; $t=0,7$ мм

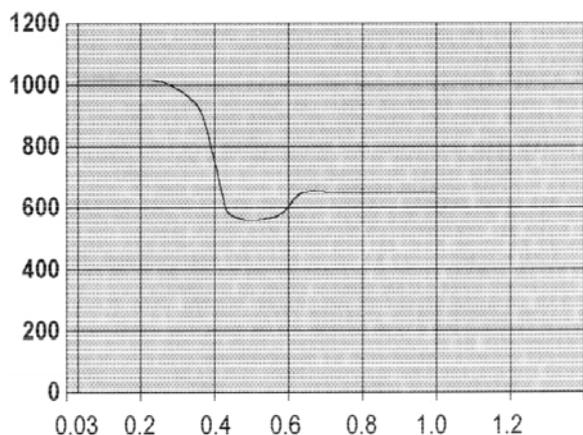


Рис. 3 Распределение твердости по глубине образца из стали Х12М после закалки, среднего отпуска и ТФО.

Режим ТФО: $S=10$ мм/с; $t=0,7$ мм

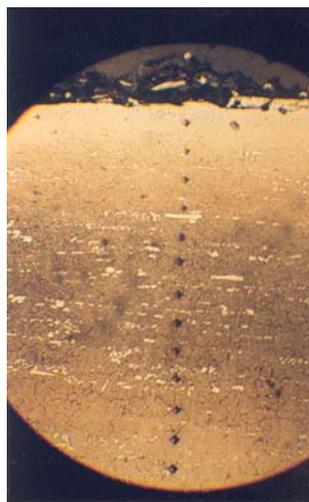


Рис. 4 Микроструктура стали Х12М после закалки, среднего отпуска и ТФО.

По полученным экспериментальным данным построены графики распределения твердости по сечению образцов (рис. 1., 3).

Очевидно, что этот эффект возникновением в поверхностном слое обрабатываемого материала повышенных температур. Таким образом, определенные изменения в материале вызваны различной степенью нагрева поверхности при ТФО которую демонстрируют графики температурных полей, построенные по специальной методике. Графики приведены на рис. 5.6.

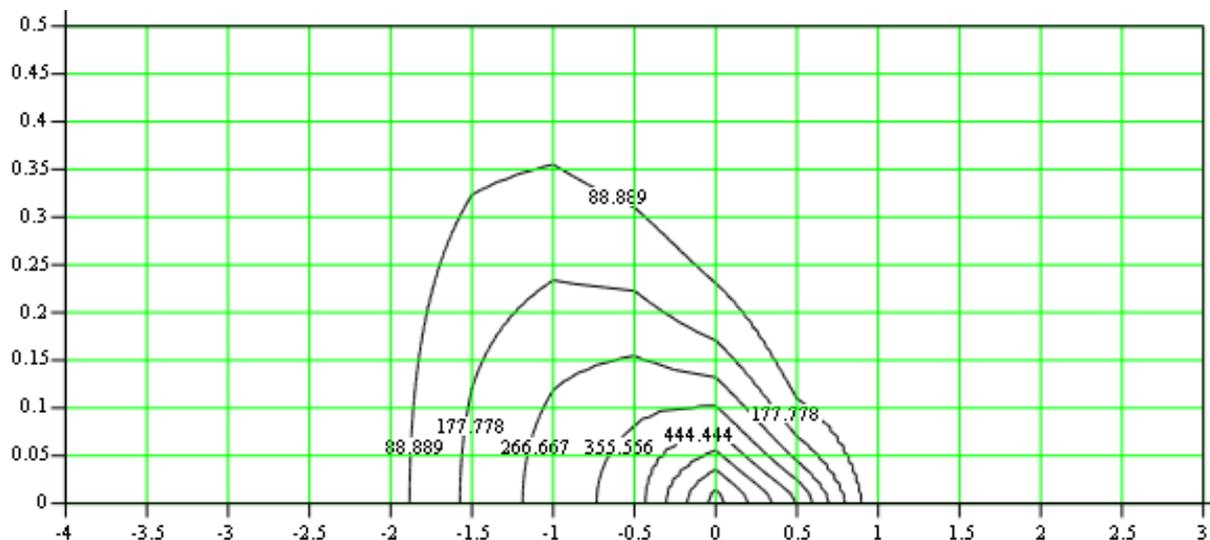


Рис. 5. График температурного поля в образце из стали Х12М в исходном состоянии после ТФО.
Режим ТФО: $S=10$ мм/с; $t=0,7$ мм.



Рис. 6. График температурного поля в образце из стали X12M после закалки, среднего отпуска и ТФО. Режим ТФО: $S=10$ мм/с; $t=0,7$ мм.

Совместный анализ графиков температурных полей, графиков распределения микротвердости по сечению образцов и фотографий микроструктур позволяет предположить, какой вид упрочнения (термическое или деформационное) имеет место при каждом конкретном режиме ТФО.

На основании проведенных исследований можно заключить, что при ТФО на «жестких» режимах повышение твердости в поверхностных слоях объясняется их закалкой (рис. 1, 2, 5) а повышение твердости на более «мягких» режимах ТФО объясняется конкурирующим воздействием наклепа и рекристаллизации (рис. 3, 4, 6).

Кроме того проведен сравнительный анализ влияния ТФО на стали 15X11МФ и X12M. Эти данные приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Влияние режимов ТФО на параметры и свойства упрочненного слоя в стали 15x11МФ

№ опыта	Исходное состояние образца	Маркировка образца	Параметры ТФО		Максимальная температура на поверхности, °C	Скорость охлаждения поверхности, °C/с	Глубина слоя с измененной структурой и твердостью, мкм			Твердость слоя с измененной структурой, кг/мм ²		Твердость сердцевины
			Скорость подачи, мм/с	Глубина резания мм			Упроч.	Разупр.	Сумм.	Упр	Разупр	
1	Закалка 1050°C (масло)	5	100	0,54	1200	1096,7	210	250	460	750	450	550
2				0,02	1300	1837,8	150	130	280	860	470	570
3				0,59	670	94,3	230	920	1150	895	366	535
4				0,1	680	178,5	140	550	690	850	380	540
5	закалка 1050°C (масло)+ отпуск 680°C (масло)	1	100	0,75	1100	507,5	260	0	260	580	0	310
6				0,17	730	1696,2	250	0	250	600	0	310
7				0,49	580	105,2	300	0	300	630	0	310
8				0,09	810	168,6	230	0	230	550	0	310

Из таблиц видно, что сталь 15X11МФ равно как и сталь X12M получает наиболее эффективное упрочнение при режимах, когда скорость подачи невысока, а глубина резания максимальна в рамках данного исследования. То есть этот режим является оптимальным. Эти факторы говорят о закономерном характере упрочнения и стабильности метода ТФО при обработке различных материалов.

Полученные результаты доказывают эффективность метода ТФО и дают все основания предполагать, что ТФО может эффективно использоваться в промышленности, как упрочняющий метод обработки металлов.

Влияние режимов ТФО на параметры и свойства упрочненного слоя в стали X12M

№ опыта	Исходное состояние образцов	Маркировка образцов	Параметры ТФО		Максимальная температура на поверхности $t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	Скорость охлаждения поверхности $V_{\text{охл}}, ^\circ\text{C}/\text{с}$	Глубина слоя с измененной структурой и твердостью l , мкм			Твердость слоя с измененной структурой H_{100} , кг/мм ²		Твердость сердцевины
			Скорость подачи S , мм/с	Глубина резания t , мм			Упр.	Разупр.	Сумм	Упроч.	Разупр.	
1	X12M в Состоянии поставки	1	100+	0,7+	1008	458,6	180	0	180	657	0	400
2		2	100+	0,2-	1500	639,4	280	0	280	680	0	400
3		3	30-	0,7+	520	770,8	360	0	360	825	0	410
4		4	30-	0,2-	520	948,7	180	0	180	572	0	390
5	Закалка 1050 ⁰ C (масло) + отпуск 375 ⁰ C (воздух)	5	100+	0,7+	1115	469,9	250	920	1170	1017	440	650
6		6	100+	0,2-	1115	469,9	200	960	1160	1040	400	640
7		7	30-	0,7+	710	1010,8	410	230	640	1017	580	650
8		8	30-	0,2-	710	1010,8	310	280	590	1017	580	670

Литература

1. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.
2. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов. М., Машиностроение, 1989. – 640с.
3. Сизый Ю.А. Теория и практика фрикционной резки. - Харьков, 1995.- 333 с.
4. Резников А.Н. Теплофизика резания. – М.: «Машиностроение», 1969.
5. Спиридонов А.А. Планирование экспериментов при исследовании технологических процессов. М., Машиностроение, 1981. – 184с.
6. Попова Л.Е., Попов А.А. Справочник термиста. – М.: «Металлургия», 1991

УДК 65.011.56

ЗАДАЧА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СОГЛАСОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ РТК**Макеев Ю.В., Макурин Н.С., канд. техн. наук***(г. Харьков, Украина)*

The problem (task) of the geometrical coordination of elements of a technological complex is considered (examined) during their teamwork on the basis of an analytical method.

Современное производство немислимо без автоматических станков, вынуждено постоянно оснащаться современными техническими средствами на основе оборудования с ЧПУ, промышленных роботов, транспортных средств и др.

Постепенно интегрируют в общие системы не только основное обрабатывающее оборудование с многофункциональными инструментами и манипуляторами, но и разнообразное вспомогательное оборудование. Таким образом, единожды установив заготовку, можно выполнить несколько операций обработки на одном станке. Это дает существенную экономию времени, снижает простои оборудования и повышает точность изготовления конечного изделия.

В условиях высокой интеграции производственных комплексов, повышения стоимости оборудования требуется обеспечить условие безаварийной работы. Одним из компонентов этого условия является проблема геометрического согласования робота, станка и детали. Так как это позволяет устранить ситуации запуска оборудования, когда рука робота с деталью находится в технологической зоне. Или когда происходит соударение

элементов робота и детали с корпусом или движущимися деталями станка. Поэтому предварительные расчеты траекторий движения элементов системы и их рациональная компоновка, позволяет избежать соударений и занимают важное место на этапе проектирования обрабатывающих комплексов.

Основная задача этапа геометрического согласования – обеспечение перемещения роботов, станков, деталей и другого технологического оборудования без соударений в пределах одной зоны в производственном помещении.

В работе рассматривается задача исключения соударений (геометрического согласования). Возможно три пути решения задачи:

- графический, путем построения схем перемещений робота относительно оборудования.
- макетирования, путем построения макетов РТК, робота и детали.
- аналитический, путем построения математических моделей (наиболее применим для обработки с применением ЭВМ и наиболее точен). У метода есть некоторые ограничения: требование унификации (исключения многообразия); невозможность использования точных форм станков и деталей, в силу чего осуществляется аппроксимация параллелепипедами; требование применения единой системы координат для робота, станка и детали.

Подробно рассмотрим все три метода решения поставленной задачи:

I. *Графический метод* – основан на построении схем перемещений робота относительно оборудования. Метод нагляден и позволяет увидеть все доступные траектории движения робота и детали. На него не распространяется ограничение по использованию точных форм станков и деталей, так как инженер, выполняющий расчет, сам определяет степень детализации.

Из недостатков можно отметить чрезмерную сложность, требование большого количества человеко-часов, минимальную возможность автоматизации, наличие большой вероятности ошибки в расчетах.

II. *Метод макетирования* – основан на построении макетов РТК, робота и детали. Отличительной особенностью является полная наглядность представления перемещений элементов РТК, робота и детали. Минимальна возможность ошибки вследствие неверной оценки размеров.

Из недостатков можно отметить высокую стоимость макетов и кропотливость работ по их изготовлению, невозможность автоматизации процесса, длительное время нахождения соответствующих схем перемещения, существует вероятность, что найденное решение не будет самым оптимальным.

III. *Аналитический метод* – основан на построении математических моделей, наиболее применим для обработки с применением ЭВМ и наиболее точен. Точность метода обусловлена тем, что для расчетов применяются математические описания элементов робота, оборудования и детали, и возможностью перебрать большое количество вариантов компоновочной схемы и отобрать оптимальный по требуемому параметру. Данный метод очень хорошо поддается автоматизации. При необходимости, используя алгоритмы и новые математические модели, можно повысить быстродействие и оптимальность аналитического метода.

В качестве примера, рассмотрим применение аналитического метода для решения задачи исключения соударений (геометрического согласования).

Задача этапа геометрического согласования параметров робота и оборудования — выбор ориентации оборудования и выхода из него схвата, а также построение траекторий манипулирования. Протяженность траектории манипулирования зависит от ориентации оборудования и выхода схвата из него относительно робота. Поэтому необходимо перебрать все возможные варианты ориентации оборудования относительно робота (ОС) и ориентацию выхода из оборудования (ОВ), отобрать из них допустимые и, наконец, выбрать ОС и ОВ, которые обеспечивают минимальную протяженность траекторий манипулирования или время перемещений робота вблизи рассматриваемого оборудования.

Удовлетворительные ориентации отбирают по двум критериям:

- совместимости ориентации и вида схвата с ориентацией движений съема изделия с оборудования, а также съема схвата с изделия;
- отсутствию соударений робота или изделия с оборудованием.

Для проверки ориентации по второму критерию необходимо построить траектории манипулирования вблизи оборудования. Общая форма и последовательность построения таких местных траекторий τ_{mj} зависят, прежде всего, от типов базовой компоновки РТК, организации промежуточного хранения и компоновки робота.

Положение точек траектории манипулирования перед съемом изделия с оборудования ($j1$) и после установки заготовки ($j2$) однозначно задается описанием оборудования. Начиная от этих точек местные траектории манипулирования должны выйти из рабочей зоны оборудования и следовать к соседнему оборудованию.

Такие траектории можно построить следующим образом. Сначала в каждой из этих точек $j1$ и $j2$ проверяется отсутствие соударений – наложения элементов робота на оборудование. Затем производится пошаговое перемещение схвата в выбранном ранее направлении выхода из оборудования, в процессе которого также проверяется отсутствие соударений. После того, как траектория манипулирования выходит за пределы движения съема схвата с изделия (точка $j3$) или заведения его на изделие (точка $j4$), делается попытка перемещения схвата вбок, к соседнему оборудованию в сторону, соответствующую рассматриваемой ветви траектории. Если в процессе такого движения обнаруживается соударение, то приходится сместиться в направлении выхода из оборудования еще на один шаг и вновь повторяется попытка движения к соседнему оборудованию.

Подобный циклический процесс продолжается до тех пор, пока траектория манипулирования не выйдет за

пределы оборудования. В том случае, если при движении к выходу или в точках j_1 и j_3 обнаружится соударение, рассматривают другие варианты ОБ, ОС, компоновки робота (КР) и промежуточных ячеек хранения (ПХ).

При геометрическом согласовании параметров робота и оборудования неоднократно проверяется соударение робота с оборудованием. Проверка может выполняться либо графически с помощью планшетов, либо аналитически. В последнем случае формы и размеры руки робота могут быть описаны так же, как и оборудование. Для этого введем систему координат схвата робота $X_C Y_C Z_C$ с началом O_c в центре губок схвата (рис.1). Ось Z_C направлена вертикально (на рисунке не показана), а ось Y_C – параллельно движению перемещения между оборудованием.

Все элементы руки (кисть 4, схват 3 и изделие 2 в нем) аппроксимируем M – параллелепипедами с гранями, параллельными осям $X_C Y_C Z_C$. Размеры и расположение каждого такого m -го параллелепипеда ($m = 1, 2, \dots, M$) описываются координатами его граней $X'_C Y'_C Z'_C, X''_C Y''_C Z''_C$ относительно системы координат руки робота $X_C Y_C Z_C$.

Проверка отсутствия соударения робота и оборудования при данном положении схвата сводится к выяснению, накладывается ли какой-нибудь m -й элемент робота на любой n -й элемент оборудования ($m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N$).

При принятой аппроксимации формы оборудования и руки робота параллелепипедами, признаком отсутствия взаимного наложения m -го элемента робота на n -й элемент оборудования является превышение любой из наименьших координат X'', Y'', Z'' одного элемента над соответствующей наибольшей координатой X', Y', Z' другого (рис. 1).

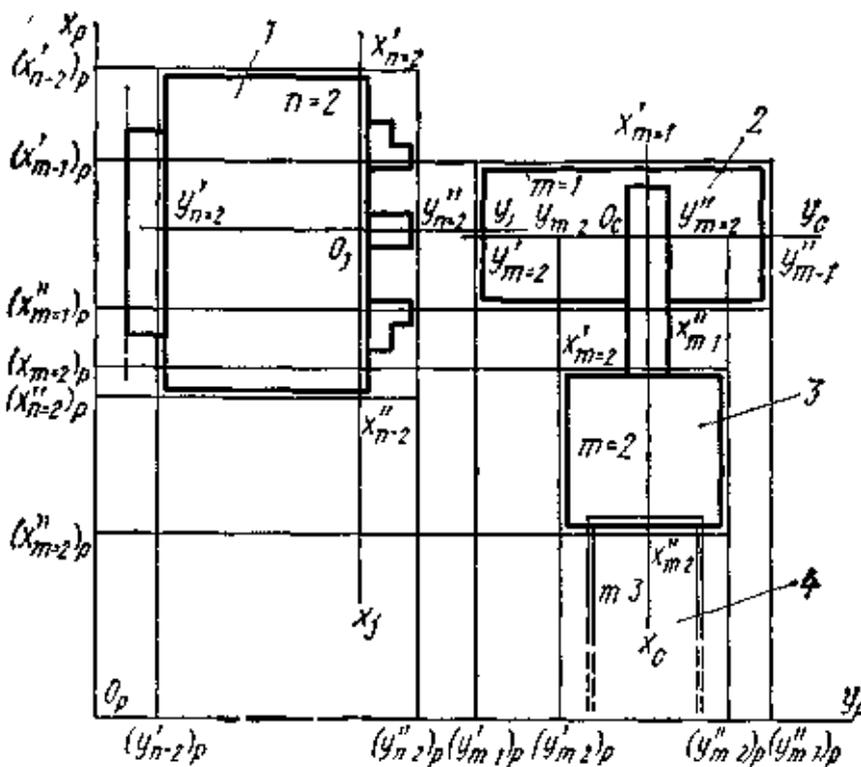


Рис.1. Задание системы координат робота.

Чтобы сопоставить положение элементов робота и оборудования, необходимо иметь их описание в единой системе координат. В данном случае удобно использовать систему координат робота $X_p Y_p Z_p$. Сначала в эту систему координат пересчитываются координаты граней параллелепипедов, аппроксимирующих элементы оборудования (например, патрона), следующим образом:

$$r'_n = r_j + A'_\alpha r_n; \quad r''_n = r_j + A''_\alpha r_n,$$

где $r'_n = \begin{pmatrix} x'_n \\ y'_n \\ z'_n \end{pmatrix}_p$; $r''_n = \begin{pmatrix} x''_n \\ y''_n \\ z''_n \end{pmatrix}_p$; $r_j = \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{pmatrix}$; $r_n = \begin{pmatrix} x'_n \\ x''_n \\ y'_n \\ y''_n \\ z'_n \\ z''_n \end{pmatrix}$; $(X'_n)_p, (Y'_n)_p, (Z'_n)_p$ — координаты граней параллелепипеда, наи-

более удаленного в положительном направлении осей $X_p Y_p Z_p$ робота; $(X''_n)_p, (Y''_n)_p, (Z''_n)_p$ — аналогичные координаты соответствующих наименее удаленных граней; $X_j Y_j Z_j$ — координаты начала системы координат j -го оборудования относительно системы координат робота $X_p Y_p Z_p$. На данной стадии проектирования $X_j Y_j Z_j$ могут быть приняты произвольными; $X'_n, X''_n, Y'_n, Y''_n, Z'_n, Z''_n$ — координаты граней параллелепипедов, аппроксимирующих элементы оборудования, относительно системы координат оборудования $X_j Y_j Z_j$; A'_α, A''_α —

матрицы преобразования координат при повороте на угол α системы координат оборудования относительно системы координат робота $X_p Y_p Z_p$ соответственно для максимально и минимально удаленных граней:

$$\text{при } \alpha = 0 \quad A'_0 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad A''_0 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\text{при } \alpha = 0,5 \pi \quad A'_{0,5} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad A''_{0,5} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\text{при } \alpha = \pi \quad A'_1 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad A''_1 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$\text{при } \alpha = 1,5 \pi \quad A'_{1,5} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad A''_{1,5} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

После пересчета координат граней аппроксимирующих элементов в систему координат робота определяют текущие положения начала системы координат схвата относительно системы координат робота по соотношениям

$$r_{cx} = r_j + B_\alpha (r_{uj} + C_\alpha r_{pu}) + r_m,$$

где $r_{cx} = \begin{vmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{vmatrix}$; $r_{uj} = \begin{vmatrix} x_{uj} \\ y_{uj} \\ z_{uj} \end{vmatrix}$; $r_{pu} = \begin{vmatrix} x_{pu} \\ y_{pu} \\ z_{pu} \end{vmatrix}$; $r_m = \begin{vmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{vmatrix}$; X_c, Y_c, Z_c — координаты точки O_c относительно системы $X_p Y_p Z_p$; X_{uj}, Y_{uj}, Z_{uj} — координаты центра O_{uj} изделия, установленного в оборудование или сразу после съема с него; X_{pu}, Y_{pu}, Z_{pu} — координаты места захвата и соответственно центра схвата относительно систем X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij} изделия; X_T, Y_T, Z_T — текущее смещение схвата робота (при перемещениях по траекториям манипулирования) в направлении соответствующих осей координат робота $X_p Y_p Z_p$ относительно своего исходного положения в момент окончания установки или съема изделия с оборудования;

$$B_\alpha = \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

— матрица преобразования координат, отражающая поворот на угол α оборудования относительно робота;

$$C_\alpha = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix}$$

— матрица преобразования координат, отражающая различные виды ориентации изделия относительно оборудования. Далее для каждого рассчитанного таким образом положения схвата определяются координаты элементов робота по следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} (r'_m)_p &= r_{cx} + r'_m; & (r''_m)_p &= r_{cx} + r''_m; \\ (r'_m)_p &= \begin{vmatrix} (x'_m)_p \\ (y'_m)_p \\ (z'_m)_p \end{vmatrix}; & (r''_m)_p &= \begin{vmatrix} (x''_m)_p \\ (y''_m)_p \\ (z''_m)_p \end{vmatrix}; & r'_m &= \begin{vmatrix} x'_m \\ y'_m \\ z'_m \end{vmatrix}; & r''_m &= \begin{vmatrix} x''_m \\ y''_m \\ z''_m \end{vmatrix} \end{aligned} \right\}$$

где $(X_m)_p, (Y_m)_p, (Z_m)_p$ — координаты граней m -го параллелепипеда, наиболее удаленные в положительном направлении осей координат робота; $(X''_m)_p, (Y''_m)_p, (Z''_m)_p$ — аналогичные координаты соответствующих наименее удаленных граней аппроксимирующих параллелепипедов.

Эти координаты элементов робота и оборудования получены в единой системе координат $X_p Y_p Z_p$, что позволяет их сравнить и определить отсутствие соударения (наложения).

В процессе проектирования РТК таким образом выполняется проработка всех участков (компонентов системы — роботов, станков, ячеек промежуточного хранения, мест передачи изделий, номенклатуры обрабатываемых изделий). Аналитический метод позволяет очень быстро проанализировать заданное подмножество вариантов компоновки РТК и выбрать наиболее приемлемую схему исходя из любых требований, предъявляемых к РТК. Существует возможность встроить систему согласования геометрических параметров, как модуль, в САПР — осуществляющую проектирование размещения производства и технологических процессов. Что позволит еще на этапе размещения заказа на изготовление, оценить необходимость перестройки производства, а так же сравнить несколько вариантов, для выбора оптимального с экономической точки зрения (или исходя из других критериев).

Таким образом, можно отметить, что для автоматического производства, оптимальное решение задачи гео-

метрического согласования параметров робота и оборудования – одна из актуальнейших, решаемых при проектировании РТК и влияющая, в свою очередь, на важнейшие характеристики комплекса. Продуманное размещение производства, снижает затраты предприятия. В свою очередь просчеты допущенные на этом этапе приведут к росту затрат и снижению основных показателей комплекса. В последствии просчеты будут трудно устранимы, поскольку потребуются остановить работающее производство, внести изменения в уже сложившуюся инфраструктуру (что требует затрат материальных и временных ресурсов). Следовательно, необходимо решать задачи проектирования в комплексе, а задача геометрического согласования параметров робота и оборудования является краеугольным камнем в основе построения РТК и их объединения в ГПС.

Литература

1. Ашманов С.А. и др. Теория оптимизации в задачах и упражнениях.- М.: Наука, 1991.-446 с.
2. Хауштейн, Гейнц-Дитер. Гибкая автоматизация: Пер с нем. /Общая ред. В.С.Автономова.-М.: Прогресс,1990. 198 с.
3. Кабанов С.А. Управление системами на прогнозирующих моделях.-С-Петербург, С-ПУ, 1997.-197 с.

УДК 510.66

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА «ЛОПАТКА» ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ.

Леховицер В.А., канд. техн. наук, Мовшович А.Я., докт. техн. наук,
Липский Е.Р., Балушок К.Б., Долматов А.И., докт. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

There is given the example of complex approach a solution of tasks of automatized projecting and manufacturing of technological machining attachments for blades of aircraft engines production.

В настоящее время перед машиностроением стоит задача перехода к принципиально новым компьютерным технологиям и автоматизированным производствам на основе CALS (Computer Aided Logistics Support) технологий.

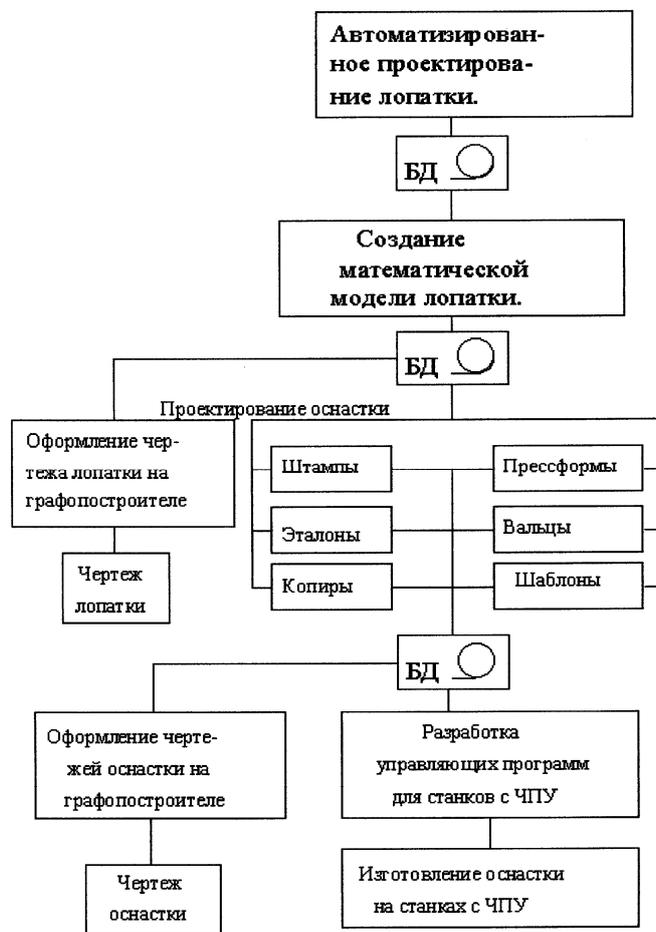


Рис.1. Комплексная САПР технологической оснастки для производства лопаток.

Примером комплексного подхода к решению задач АСТП является разработанная и внедренная в производство на предприятии ОАО «Мотор Сич» интегрированная автоматизированная система проектирования и изготовления технологической оснастки для производства лопаток авиационных двигателей, структурная схема которой приведена на рис1.

Интеграция конструкторской и технологической подготовки производства – это отнюдь не механическое объединение двух разнородных систем.

Между проектированием изделия и технологическим процессом его изготовления возникает дополнительный информационный процесс, позволяющий на основе более подробной информации, которую САПР автоматически постовляет в АСТП, получить максимум системного эффекта, повышающего степень автоматизации и динамичности системы в целом.

Почему традиционное неавтоматизированное производство медленно, но отлажено работает? Это объясняется тем, что роль блока комплексирования между конструктором и технологом выполняет традиционный чертеж изделия и его деталей.

Эти чертежи несут информацию о геометрической форме и некоторых свойствах деталей, определяемые их назначением (материал, твердость, точность, шероховатость и др.). Таким образом, чертеж является человеко-ориентированной геометрической моделью детали.

В условиях комплексной автоматизированной системы возникает потребность в принципиально

новых машинно-ориентированных источниках информации, роль которых выполняет построенная на языке аналитической и дифференциальной геометрии объемная математическая модель (ОММ) детали, а роль блока комплексирования, обеспечивающего создание и хранение ОММ в базе данных, играет подсистема математического моделирования.

В основе системы «Лопатка» с самого ее зарождения лежит метод комплексной автоматизации ТПП на базе единой объемной математической модели. Следует отметить, что этот же метод лежит в основе современных CAD/CAM/CAE систем.

Суть метода, применительно к лопаткам, заключается в том, что устаревшее координатно-точечное представление информации о поверхности пера лопаток заменяется (в памяти ЭВМ и чертеже) представлением коэффициентами объемной сплайн-функции (формулой поверхности), что дает возможность однозначно определить поверхность и

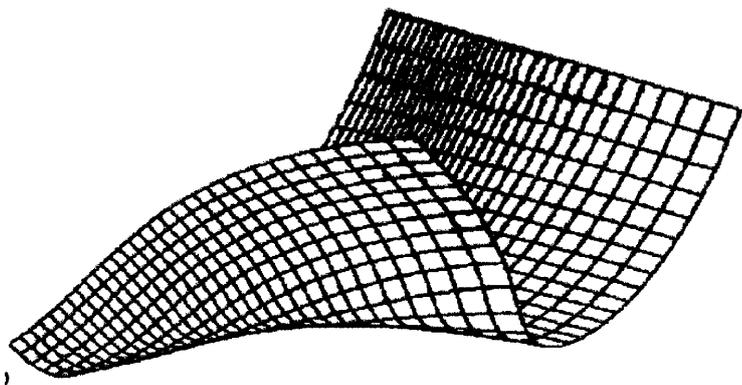


Рис.2. Пример построения поверхности в системе «Лопатка».

работать не с отдельными сечениями поверхности и точками в сечениях, а со всей поверхностью в целом (рис.2).

Для математического моделирования пера любых лопаток в системе используется разработанный авторами модифицированный метод приближения функций В-сплайнами, названный методом оптимального отображения в пространство В-сплайнов. Модификация заключается в том, что аппроксимируется или интерполируется не сама функция, а ее отображение в пространство нормализованных В-сплайнов. Выбор параметров отображения осуществляется автоматически в зависимости от конфигурации моделируемой функции. Тем самым ал-

горитм самонастраивается на приближаемую функцию без изменения информационной структуры математической модели. Этим обеспечиваются: минимизация погрешности аппроксимации, уменьшение количества коэффициентов в матмодели, сокращение времени вычисления сплайн-функции, сокращение стремления к осцилляциям и др.

Получаемая данным методом объемная сплайн-функция обладает такими характеристиками, что работать с ней в реальном масштабе времени можно даже на бытовом компьютере типа БК0010. Она универсальна и годится для моделирования пера любой лопатки. По модели можно вычислить любые геометрические параметры пера. Модель удобна для проектирования технологической оснастки, имеющей линию разреза (штампы, пресс-формы, вальцы).

Метод обеспечивает приближение сеточных функций нескольких переменных и может быть рекомендован в качестве базового метода для геометрического моделирования пера лопаток.

Для моделирования других элементов лопаток (хвостовиков, замков, бандажных и антивибрационных полок) в системе «Лопатка» используются современные CAD/CAM/CAE системы Euclid и Unigraphics.

Модульный принцип построения системы позволяет постоянно наращивать ее возможности включением новых задач и подсистем, а также легко адаптироваться к постоянно меняющемуся парку вычислительной техники и универсальному программному обеспечению.

Система обладает высокой производительностью за счет оптимального сочетания универсальных программных и технических средств, приобретенных у ведущих фирм, и специализированных, обладающих высокой степенью автоматизации, пакетов программ, созданных специалистами ОАО «Мотор Сич».

Специализированное программное обеспечение системы "Лопатка" содержит:

- подсистему математического моделирования поверхностей методом оптимального отображения в пространство В-сплайнов;
- подсистему автоматизированного проектирования профильной части оснастки;
- подсистему оформления чертежей лопаток и оснастки;
- графическую базу данных лопаток и оснастки;
- подсистему разработки управляющих программ для фрезерования деталей на станках с ЧПУ;
- участок станков, управляемых от ЭВМ.

На этапе подготовки производства интегрированная компьютерная технология производства лопаток выглядит следующим образом.

Из ОКБ на серийный завод поступает чертеж лопатки, содержащий код объемной компьютерной модели, информация о которой записана на центральном сервере системы в базе данных лопаток.

Конструктор оснастки, получив заказ на проектирование, перекачивает математическую модель лопатки в подсистему проектирования оснастки, где указывает ряд технологических параметров, специфичных для данного типа оснастки (припуск, толщина облоя, коэффициент температурной усадки и т.п.).

После этого автоматически, в пакетном режиме создается математическая модель профильной части оснастки для формообразования пера лопатки. Элементы поверхности оснастки для формообразования хвостовиков, бандажных и антивибрационных полок строятся в интерактивном режиме в системе Euclid.

В подсистеме "Оснастка" осуществляется автоматизированное проектирование:

- ковочных, калибровочных и рихтовочных штампов для точной штамповки;

- оснастки для холодного вальцевания лопаток;
- модельных и стержневых пресс-форм для литья по выплавляемым моделям;
- шаблонов для контроля пера и полок лопаток;
- мастер-моделей, ложементов, копиров и др.

Полная компьютерная модель деталей оснастки записывается в базу данных системы и используется для автоматизированного вычерчивания на плоттере чертежей оснастки, а также расчета управляющих программ для изготовления оснастки на станках с ЧПУ.

При этом расчет управляющих программ происходит параллельно с разработкой чертежей, что существенно сокращает сроки подготовки производства и является первым шагом на пути к безбумажной технологии.

Управляющие программы передаются на станок по каналу связи. Все станки, задействованные для изготовления оснастки, объединены в единую сеть, управляемую от ЭВМ верхнего уровня.

При изготовлении больше размерных лопаток в системе "Лопатка" используются отечественные станки 4ФСЛ-8П для двухстороннего одновременного фрезерования "спинки" и "корыта" и собственная разработка, позволяющая генерировать управляющую программу непосредственно в микро-ЭВМ, установленной на станке, с возможностью коррекции на станке параметров инструмента, угловых и линейных размеров базирования и технологии обработки. Технические характеристики нашей математической модели таковы, что позволяют на ЭВМ низкой производительности рассчитывать управляющую программу в реальном масштабе времени, когда очередной кадр программы рассчитывается за то время, пока станок обрабатывает предыдущий кадр.

На рис.3 показана приставка к станку с ЧПУ на базе микро ЭВМ БК0010, обеспечивающая указанный режим работы.

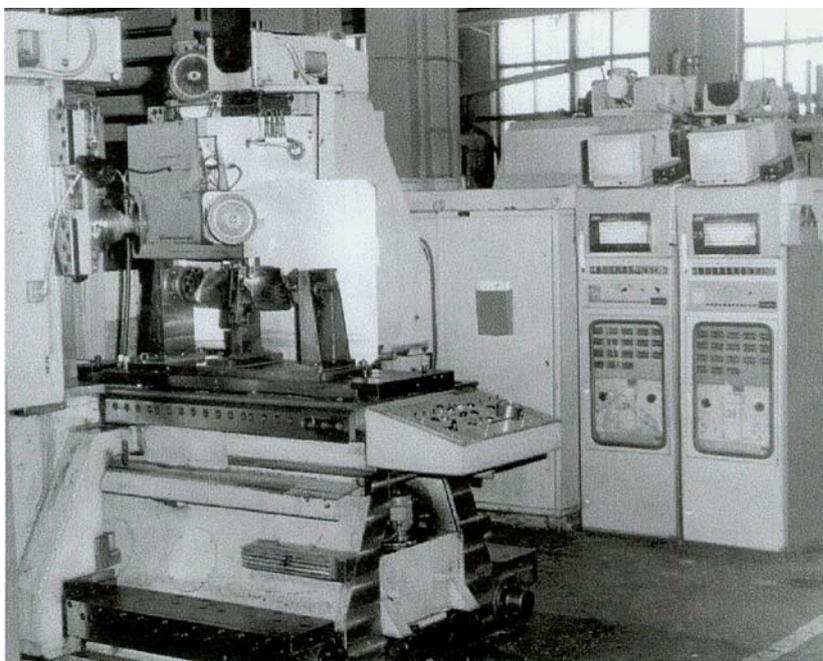


Рис.3. Приставка к станку с ЧПУ.

Оснащение станка приставкой позволило значительно повысить точность изготовления лопаток, исключить перфоленту, повысить надежность работы станка.

УДК 621.7.-05

ОБОБЩЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ КОМПЛЕКСНО-АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Жолткевич Н.Д., докт. техн. наук, Мовшович А.Я., докт. техн. наук,
Буденный М.М., канд. техн. наук, Горницкий А.Я., канд. техн. наук.
(г. Харьков, Украина)**

Aspects of general conception of cold sheet punching automation in common system of complex automatized manufacture are showed. Comparative characteristics of various types of sheet-punching manufacture attachments are given. There are showed the ways of raising of efficiency and labour productivity connected with applying of mechanized means of sheet-punching manufacture.

В последние годы машиностроение в индустриально развитых странах добилось существенного прогресса. Гибкое рыночно ориентированное производство потребовало разработки новых наукоемких технологий.

Проблема создания качественно новых организационных структур, чтобы преуспеть в условиях мировых рынков со все более четко выступающими чертами жесткой конкуренции встает перед предприятиями машиностроительного комплекса Украины. И здесь первоочередной задачей является повышение качества выпускаемых изделий, а это не возможно без создания новых производств "высокой технологии", особенно по тем направлениям, где мы располагаем большим научно-техническим потенциалом. Это в полной мере относится к листоштамповочному производству, на долю которого приходится до 25-27% выпускаемых деталей, входящих в состав изделий и определяющих в значительной степени их товарный вид и качество.

Штамповочное производство до недавнего времени рассматривалось как присущее массовому, крупносерийному и частично серийному производствам, ибо трудоемкость и стоимость проектирования и изготовления штамповой оснастки и первичных капитальных вложений в прессовое оборудование значительно превосходят стоимость и трудоемкость изготовления небольшой партии деталей вручную (слесарно-станочным способом, свободной ковкой).

Частая смена изделий, вследствие их быстрого морального старения, значительное увеличение номенклатуры изделий, заказываемых небольшими сериями, увеличение общего объема производства, дефицит высококвалифицированных жестянщиков и кузнецов,

недостаток производственных и складских площадей выдвинули задачу создания мобильного высокопроизводительного и экономически эффективного штамповочного производства, способного быстро переходить на изготовление новых деталей и изготавливать их в кратчайшие сроки без дополнительных капитальных вложений и длительных сроков технологической подготовки производства.

Разработка и внедрение штамповки по элементам и эластичными средами, изотермической штамповки и торцевой раскатки, универсально-сборных штампов и штампов блочно-пакетной конструкции с применением композиционных материалов, координатно-револьверных прессов, манипуляторов и роботов, групповой организации производства и ряда других специальных и специализированных процессов и средств технологического оснащения, а также применение пневматики, гидравлики, электроники и вычислительной техники способствовали существенному сокращению трудоемкости и стоимости технологической подготовки производства и обеспечили широкое проникновение штамповки в многономенклатурное (серийное, мелкосерийное и единичное) производство путем перевода на штамповку деталей, изготавливаемых вручную. При этом улучшилось качество деталей, повысилась их точность и взаимозаменяемость, сократилась общая трудоемкость изготовления деталей и увеличился коэффициент использования материала.

Фактическая средняя производительность прессового оборудования, из расчета двухсменной работы, составляет в листоштамповочном многономенклатурном производстве всего 0,3-3,0% от паспортной (наибольшей) производительности, в крупносерийном - 30-60%.

Такая низкая фактическая производительность прессового оборудования обусловлена, главным образом, технологическими, техническими и организационными причинами.

К технологическим причинам низкой производительности относятся потери машинного времени на выполнение вспомогательных операций и переходов процесса штамповки и операций переналадки прессового комплекса при переходе на изготовление деталей другого наименования, длительность которых значительно превышает время формообразования детали.

Технологические возможности средств механизации и автоматизации (СМА) вспомогательных операций и переходов процесса штамповки (подача заготовки на пресс и в штамп, протирка и смазка заготовки и штампа, удаление отштампованных деталей; отходов и высечек из штампа и пресса, укладка их в тару и др.) ограничены по сравнению с возможностями пресса. Конструкция СМА определяется формой исходной заготовки (лист, лента, полоса штучная плоская, штучная пространственная), а также из какой части штампа (нижней, верхней) и каким способом удаляются детали, отходы и высечки.

Структурная схема и основные СМА приведены на рис. 1.

Переналадка прессового комплекса при переходе на изготовление детали другого наименования (переналадка пресса и СМА, смена штампов и заготовок, подналадка пресса и штампа и др.), во всех типах производств осуществляется вручную или с применением локальных средств механизации. Время переналадки, в зависимости от массы штампа и модели пресса, составляет от 0,5 до 7,0 часов и более.

В крупносерийном производстве, где партия запуска деталей в производстве велика и на ее штамповку затрачивается несколько смен, потери на переналадку относительно невелики и составляют 3-8% машинного времени пресса. В многономенклатурном производстве, где время штамповки партии деталей колеблется от нескольких минут до 0,5-1,0 часа, потери на переналадку достигают 50-90% машинного времени пресса.

Над техническими решениями гибкой автоматизации вспомогательных операций процесса штамповки и операций переналадки пресса работают у нас и за рубежом. Ряд решений внедрено. ' Время переналадки сократилось: для мелких прессов (усилием до 1000 кН) - с 30-45 минут до 2-5 минут, для средних и крупных - с 2-7 часов до 0,1-1,0 часа.

К техническим причинам низкой производительности прессов относятся потери машинного времени на плановый и аварийный ремонт комплекса, его составных частей и комплектующих изделий. Вследствие сравнительно низкой надежности технических средств электроники и вычислительной техники сокращаются сроки между плановыми ремонтами, а отдельные дефекты по качеству являются причиной аварий.

К организационным причинам потерь машинного времени оборудования относятся простои вследствие недостатков в снабжении и планировании, несвоевременной подачи и смены заготовок, штампов оснастки и

вспомогательных материалов, длительных сроков проектирования и изготовления оснастки и др., а также на отдельных участках, недостаток рабочих и их невысокая квалификация.

Одним из главных направлений повышения эффективности и производительности труда, улучшения его условий является всесторонняя автоматизация штамповочного производства, которая в совокупности с другими основными частями предприятия должна охватывать технологию, технологическую подготовку производства, проектирование, управление, планирование, диспетчеризацию и другие элементы производственного процесса.

Разработка и внедрение гибких производственных систем, в том числе ГПС штамповки, сочетающих оперативность и гибкость универсального прессового оборудования с высокой производительностью автоматического, открыли новые возможности решения задач комплексной автоматизации штамповочного производства, главным образом, многономенклатурного.

ГПС штамповки представляет собой высокопроизводительный, автоматизированный и эффективный, но сложный и дорогостоящий комплекс оборудования и является одним из основных, но не единственным средством автоматизации штамповочного производства.

Комплексно-автоматизированное штамповочное производство конкретного предприятия, в зависимости от реальных потребностей, наряду с ГПМ и ГПС штамповки может включать прессы с ПУ, робототехнические комплексы, комплексы с жесткой автоматизацией, гибкие быстропере-настраиваемые прессы и комплексы, сконструированные на базе традиционных средств автоматизации (т.е. без электроники), роторные и роторно-конвейерные линии, простые средства автоматизации и др.

Особое внимание следует обратить на унификацию оборудования и средств автоматизации: набор прессового оборудования и средств автоматизации штамповки должен быть минимальным по типам и моделям и экономически оправданным.

Основной технологической ячейкой ГПС штамповки являются предметно-специализированные гибкие производственные модули (ГПМ) и их разновидность робототехнические комплексы (РТК), на создание и отработку конструкции которых направлены в настоящее время основные усилия.

На ГПМ осуществляется процесс автоматической штамповки деталей: от приема, накопления и выдачи заготовок до удаления отштампованных деталей, отходов и высечек, а также смены заготовок и штампов.

Структурная схема ГПМ листовой штамповки приведена на рис.2.

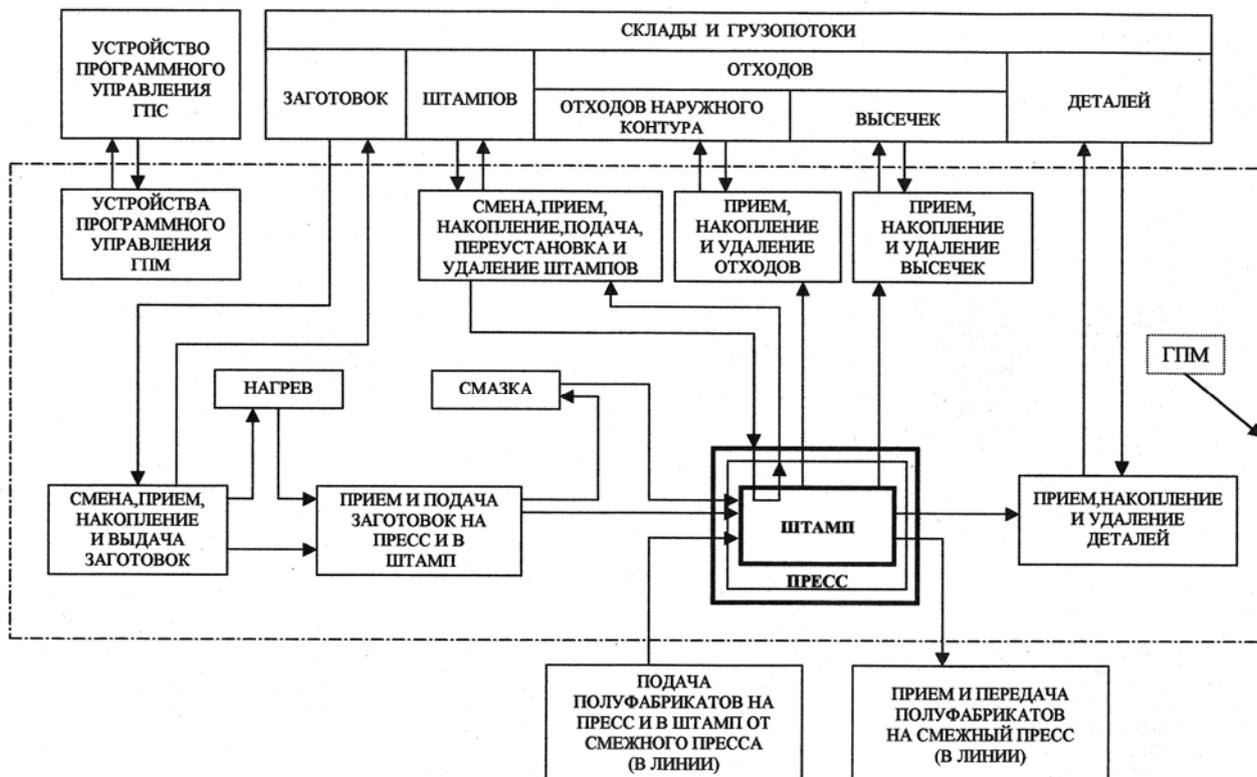


Рис.2. Структурная схема гибкого производственного модуля листовой штамповки.

Внедрение ГПС штамповки имеет целью обеспечить на участках (цехах, подразделениях) штамповки, охваченных гибкой автоматизацией, рост производительности труда в 2,5-3,0 раза, сокращение количества прессового оборудования в 2-3 раза, уменьшение численности работающих в 1,5-2,0 раза, резкое уменьшение нормативов незавершенного производства (и соответственно складских помещений), переход к малолюдной технологии, существенное улучшение условий и безопасности труда.

УДК 621.92

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КРУГЛОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Серховец О.И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In vorligendem Artikel werden die Bedingungen der Arbeitsleistungserhöhung der Bearbeitung mit den durch die CNC gesteuerten Rundschleifmaschinen behandelt.

В настоящее время на круглошлифовальных станках, в основном, применяется скорость шлифовального круга равная 50 м/с. Уже проведены исследования, в которых скорости вращения сплошных абразивных кругов и составных из секторов достигали 80-100 м/с и более. Однако, на практике такие скорости ещё применяются недостаточно. Одной из сфер применения таких скоростей за рубежом стало шлифование колец подшипников.

Сдерживающими факторами применения повышенных скоростей, а, следовательно, и повышения производительности являются: необходимость создания шлифовальных кругов повышенной прочности, появление в некоторых случаях прижогов и повышенных вибраций, которые требуют дополнительных решений по их устранению.

Кроме того, при шлифовании на станках с ЧПУ в условиях серийного производства, при частой смене обрабатываемого материала, проведенных исследований оказалось недостаточно для систематизации параметров процесса шлифования. Основными параметрами, характеризующими условия обработки, являются усилия шлифования и стойкость абразивных кругов.

Одним из самых высокопроизводительных процессов является врезное шлифование. В тех случаях, когда длина шлифования превышает высоту круга, целесообразно применять строчное шлифование врезным методом с окончательным зачистным проходом с продольной подачей.

При обработке конструкционных сталей на станках с достаточной информацией по параметрам обработки для определения усилий при врезном шлифовании можно воспользоваться такими обобщенными формулами:

$$P_z = 1 * 10^{-2} * \frac{S_m^{0.7} * Z^{0.2} * C_e^{0.7} * d^{0.8} * B}{V_{kp}^{0.75} * V_u^{0.28} * S_{np}^{0.35} * A * M} \quad (\text{н}); \quad (1)$$

$$P_y = 1.57 * 10^{-2} * \frac{S_m^{0.7} * Z^{0.2} * C_e^{0.7} * d^{0.9} * B}{V_{kp}^{0.75} * V_u^{0.17} * S_{np}^{0.25} * A * M} \quad (\text{н}); \quad (2)$$

где S_m – минутная врезная подача (мм/мин), Z – зернистость шлифовального круга (мм), C_e – величина, характеризующая твердость шлифовального круга, определяемая прибором «Звук-202» при неразрушающем контроле твердости.

Например, для кругов на керамической связке зернистостью более 12 приведенная скорость распространения акустических волн C_e будет равна (м/с):

СМ1 – 4450 – 4750;
СМ2 – 4750 – 5000;
С1 – 5000 – 5220;
С2 – 5220 – 5420.

d – диаметр обрабатываемой поверхности (мм), B – ширина шлифования (мм), V_{kp} и V_u – скорость круга и изделия (м/с) и (м/мин) соответственно, S_{np} – подача при правке однокристалльного алмазного инструмента вдоль образующей круга (мм/об. кр), A – коэффициент, характеризующий абразивный материал шлифовального круга.

Для кругов из 24А и 25А этот коэффициент равен единице.

У кругов из 92А он составляет 1,15.

M – коэффициент обрабатываемости материала. Для принятых в [1] семи групп обрабатываемости предлагается принять следующие значения коэффициентов:

$M_1 = 1,00$; $M_2 = 0,75$; $M_3 = 0,45$; $M_4 = 0,38$; $M_5 = 0,25$; $M_6 = 0,10$; $M_7 = 1,15$.

Коэффициент $M_1 = 1,00$ соответствует группе конструкционных углеродистых сталей.

Для станков с ЧПУ, работающих в режиме «Меню» или с адаптивным управлением, с расчетом параметров шлифования в цикле обработки целесообразно использование более упрощенных алгоритмов.

Составляющую силы резания P_y можно определить с учетом коэффициента режущей способности, который представляет собой величину:

$$K_p = Q_M / P_y \quad (\text{мм}^3/\text{мин} * \text{Н}); \quad (3)$$

где $Q_M = \pi * d * S_m * B$ – сьем материала в минуту; d – диаметр обрабатываемой детали (мм); S_m – минутная врезная подача (мм/мин); B – ширина шлифования (мм).

Для кругов 25А зернистостью 25-40 средние значения коэффициентов K_p применительно к семи группам обрабатываемости [1] можно принять следующими: $K_{p1} = 18$; $K_{p2} = 13,5$; $K_{p3} = 8,1$; $K_{p4} = 5,4$; $K_{p5} = 4,5$; $K_{p6} = 1,8$; $K_{p7} = 20,7$ (мм³/мин*Н), K_{p1} и K_{p2} для незакаленных сталей будут в 1,8 – 2 раза больше. Приведенные коэффици-

енты K_p соответствуют начальному периоду шлифования. В конце периода стойкости по данным С.Н. Корчака [2] они для разных сталей уменьшаются примерно в 1,5 – 2 раза. При определении K_p для абразивных кругов из материала 92А его необходимо умножить на 1,15.

Приведенные K_p соответствуют скорости круга 35 м/с. Поскольку сила P_y зависит от скорости круга, то коэффициенты являются переменными и могут быть представлены в виде: $K_p = 1,25 * V_{кр}^{0,75}$.

Учитывая значения K_p и Q_m , воспользовавшись формулой (3), определяются значения P_y . Величина силы $P_z \approx (0,4 - 0,5)P_y$.

Для определения стойкости шлифовальных кругов предлагается зависимость, используемая для станков, выпускаемых Харьковским заводом круглошлифовальных станков, обладающих более высокой жёсткостью, чем в исследованиях [3] и имеющих круги диаметром от 600 мм и выше.

$$T = \frac{C_T}{(Q * K_C)^n} \quad (\text{мин}); \quad (4)$$

где C_T – коэффициент, зависящий от качества обрабатываемого материала, размеров и характеристики круга, Q – средний удельный съём металла ($\text{мм}^3/\text{с} * \text{мм}$), K_C – коэффициент, зависящий от жесткости системы, режимов резания и размерного износа кругов, n – показатель степени, зависящий от условий шлифования.

Для большей универсальности этой зависимости целесообразно учесть коэффициенты, предложенные В.И. Муцянюк [3], и тогда формула приобретает следующий вид:

$$T = \frac{C_T}{(Q * K_C)^n} * K_{\text{общ}} \quad (\text{мин}); \quad (5)$$

$K_{\text{общ}} = K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 * K_7 * K_8 * K_9 * K_{10}$, где, например, для круга 25А40С17К5 ПП600×63×305:

K_2 – коэффициент влияния диаметра шлифовального круга и его рабочей поверхности

$K_2 = 0,0025 * D_{кр} = 1,5$;

K_3 и K_6 – коэффициенты влияния зернистости и марки абразивного материала

$K_3 = 1,55 - 0,02 * Z_{\text{зер}} = 1,55 - 0,02 * 40 = 0,75$; $K_6 = 1,05$ – абразивный материал 24А, 25А.

K_4, K_5, K_8 – коэффициенты влияния твердости, связки и скорости шлифовального круга.

$K_4 = 1,0$ для твердости круга С1; $K_5 = 1,0$ – керамическая связка; $K_8 = 0,37 * V_{кр}^{0,28}$: для $V_{кр} = 50$ м/с $K_8 = 1,1$; $V_{кр} = 60$ м/с $K_8 = 1,16$; $V_{кр} = 80$ м/с $K_8 = 1,26$; $V_{кр} = 100$ м/с $K_8 = 1,34$, и т.д.

$K_7 = 1,03$ – коэффициент, учитывающий класс изготовления шлифовального круга (А; АА); $K_9 = 1,0$ – коэффициент, учитывающий тип (форму) шлифовального круга; $K_{10} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий точность шлифования (для форсированного процесса шлифования без правки круга перед чистовым шлифованием она будет находиться в пределах 7-го качества).

В результате коэффициенты $K_{\text{общ}}$ для скоростей круга 50, 60, 80 и 100 м/с, будут соответственно равны: 1,07; 1,128; 1,226 и 1,34. Значения параметров формулы (5) для некоторых материалов разных групп обрабатываемости и шлифовальных кругов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов для различных обрабатываемых материалов.

Обрабатываемый материал: сталь (твердость HRC)	Круг 25А 25-40СМ2-С1 7К5 Ø600 мм		
	C_T	K_C	n
45 незакаленная	100-120	0,85-0,95	1,8-2,0
45 закаленная (48-50)	60-80	0,8-0,95	1,5-1,7
ШХ15 (58-60)	60-70	0,8-0,95	1,6-1,8
12ХН3А (56-60)	50-60	0,8-0,95	1,6-1,8
40Х13	14-20	1,7-1,9	1,8-2,0
Р9Ф4 (62-64)	0,3-0,5	0,2-0,4	1,1-1,8

У кругов, диаметром 750 мм коэффициент C_T для различных материалов увеличивается в 1,1-1,2 раза. Остальные параметры формулы, практически, не изменяются.

Графики стойкости круга 25А40С1 7К5 с использованием (5) при обработке стали 45 (закаленной и незакаленной) и ШХ15, закаленной до HRC58-60 при $V_{кр} = 80$ м/с, $V_u = 80$ м/мин представлены на рис. 1, 2 и 3 соответственно. При этом использовались такие размеры круга и заготовки: $D_{кр} = 600$ мм, $B = 56$ мм, $d = 57$ мм.

Рассматривая полученные зависимости и графики для стойкости кругов можно сделать ряд выводов:

На малых врезных подачах (до 0,5 мм/мин, т.е. $Q = 1,5 \text{ мм}^3/\text{с} * \text{мм}$) стойкость шлифовальных кругов для закаленной стали 45 и ШХ15, примерно, одинакова. Для незакаленной стали она выше, примерно, на 35%.

На подаче 2 мм/мин стойкости для всех обрабатываемых материалов выравниваются.

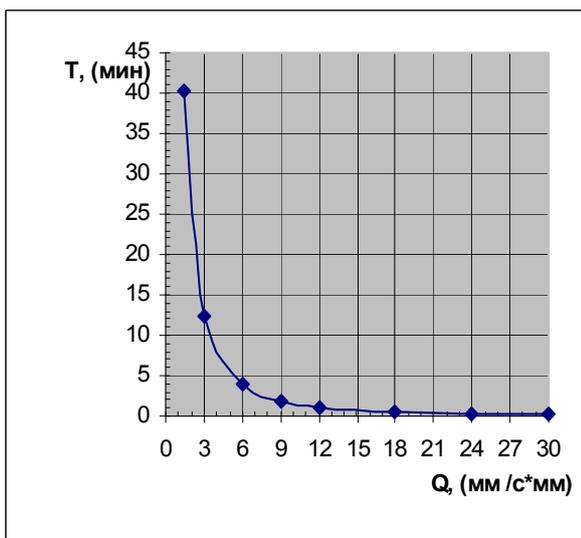


Рис.1. Зависимость стойкости круга от удельного съема металла (ст. 45 закален.). $C_m = 60$; $K_c = 0,95$; $n = 1,7$.

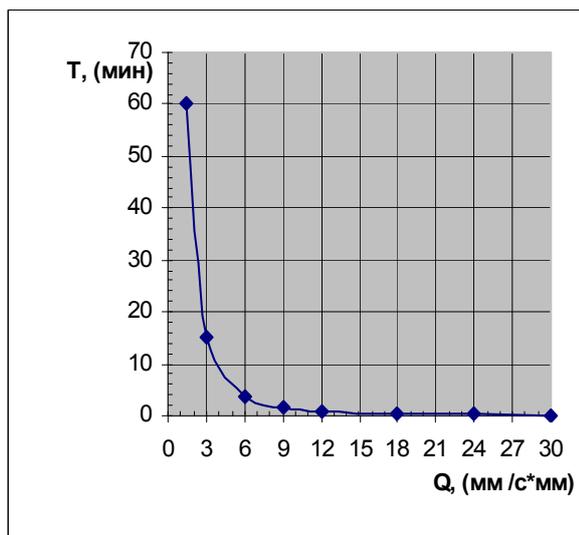


Рис.2. Зависимость стойкости круга от удельного съема металла (ст. 45 незакален.). $C_m = 100$; $K_c = 0,95$; $n = 2$

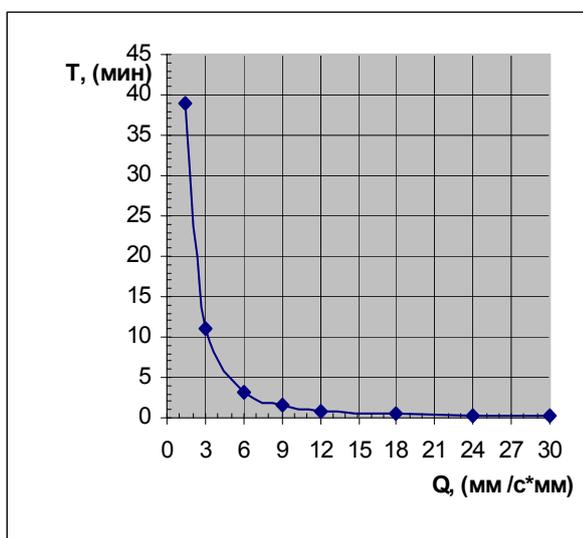


Рис.3. Зависимость стойкости круга от удельного съема металла (ст. 3Х15). $C_T = 60$; $K_c = 0,95$; $n = 1,8$.

Шлифование с подачами более 3 мм/мин ($Q = 9$ мм³/с*мм) у незакаленной стали, дает уже меньшие результаты по стойкости кругов, чем у закаленных сталей. В данном случае более вязкая структура обрабатываемого материала при напряженных условиях обработки оказывает преобладающее влияние на снижение стойкости.

Имея предложенные зависимости и графики можно оптимально спроектировать цикл обработки с учетом необходимого времени начала правки шлифовального круга. С учетом штучного времени изготовления деталей она может осуществляться как после обработки партии деталей при не напряженном цикле обработки, так и в цикле обработки одной детали при форсированных съемах.

Наличие данных по силам резания и стойкости кругов дают также возможность контролировать нагрузку приводов, момент появления прижогов, недопустимое ухудшение шероховатости поверхностей и погрешностей формы обрабатываемых деталей, обеспечивая максимально возможную производительность обработки.

Литература

1. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. ч. 2. (нормативы режимов резания). – Москва, Экономика, 1990. – 473 с.
2. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – Москва, Машиностроение, 1974. – 280 с.
3. Муцянюк В.И. Основы выбора шлифовальных кругов и подготовка их к эксплуатации. Ленинград, Машиностроение, 1987. – 137 с.

УДК 621.924.5

НОРМИРОВАНИЕ ЦИКЛА КРУГЛОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Сизый Ю.А. докт. техн. наук, проф., Евтухов А.В.

(г. Харьков, Украина)

Original methods of the standardising of the round infeed grinding cycle by means of automated production preparation are proposed.

Основными исходными данными, определяющими элементы режимов резания, являются: обрабатываемый материал, точность размеров и формы заготовки и готовой детали, шероховатость поверхности, податливость технологической системы (ТС), др.

Сегодня для нормирования операции шлифования и определения такой характеристики как упругая податливость ТС применяют довольно громоздкий и сложный расчет [1], исходными данными являются коэффициенты, определяемые по паспортным данным технологического оборудования, фактические значения которых к данному моменту времени могут не соответствовать номинальным.

На основе предложенной обобщенной характеристики динамической системы врезного шлифования $c/(j+c)$, (где: c – жесткость процесса шлифования, j – жесткость упругой системы станка) [2] предлагается более простой способ нормирования цикла врезного шлифования, главными отличиями которого являются его наглядность, минимальное количество исходных данных, требуемых для расчета, а также: экспериментальная часть, необходимая для определения идентификационной характеристики и, теоретическая часть – выбор соответствующего алгоритма расчета цикла врезного шлифования. Для каждого из циклов врезного шлифования, отличающихся наличием соответствующих этапов (врезание, выхаживание, переходные этапы) существует свой алгоритм расчета при нормировании цикла. В основе каждого алгоритма находятся определенная очередность этапов цикла шлифования и соответствующие им оригинальные выражения по определению глубины шлифования на каждом обороте цикла [2].

Программная реализация расчета цикла врезного шлифования позволит произвести нормирование с минимальными затратами времени по нескольким предложенным алгоритмам и выбрать наиболее производительный из них. В качестве программного обеспечения предлагаются пакет MathCAD 2000, как наиболее простой, и пакет прикладного программирования Delphi 5.

На рис. 1 приведен фрагмент программы, реализующий в пакете MathCAD 2000 алгоритм нормирования цикла врезного шлифования по оригинальному способу круглого врезного шлифования деталей [3], заключающегося в том, что «шлифовальному кругу та деталі задають обертанья, здійснюють врізання та забезпечують безперервний контакт круга з деталлю і зміну швидкості обертанья деталі, який відрізняється тим, що в момент створення безперервного контакту шліфувального круга з деталлю частоту обертанья деталі одноразово зменшують в 2,5 - 3 рази». Так реализуется задача устранения резонансных колебаний заготовки и снижение вибраций всей ТС.

```

K := 0.45  R := 30  v := 30  s := 25
K1 := 0.2  P := 200  d := 65  delta := 0.5  X := 0
f(K, K1, R, P, v, d, s, delta, X) :=
  omega <- 33.33 * v / d
  So1 <- 6.28 * s / omega
  i <- 0
  t0 <- 0
  tau0 <- 0
  while ti <= R
    i <- i + 1
    Xi <- So1 * (1 - K^i)
    zi,0 <- Xi
    ti <- ti-1 + Xi
    zi,1 <- ti
    tau1 <- taui-1 + 2 * pi / omega
    zi,2 <- tau1
  omega1 <- omega / 3
  So2 <- 6.28 * s / omega1
  j <- 0
  while Xi < 0.98 * So2
    j <- j + 1
    i <- i + 1
    Xi <- So2 * (1 - K1^j) + (Xi-j * K1^j * K * (1 - K1)) / ((1 - K) * K1)
    zi,0 <- Xi
    ti <- ti-1 + Xi
    zi,1 <- ti
    tau1 <- taui-1 + 2 * pi / omega1
    zi,2 <- tau1
    l <- 0
    while ti < P
      l <- l + 1
      i <- i + 1
      Xi <- So1 * (1 - K^l) + So2 * K1^l
      zi,0 <- Xi
      ti <- ti-1 + Xi
      zi,1 <- ti
      tau1 <- taui-1 + 2 * pi / omega1
      zi,2 <- tau1
    m <- 0
    while Xi >= delta
      m <- m + 1
      i <- i + 1
      Xi <- So1 * K1^m
      zi,0 <- Xi
      ti <- ti-1 + Xi
      zi,1 <- ti
      tau1 <- taui-1 + 2 * pi / omega1
      zi,2 <- tau1
  z

```

Рис. 1 Текст программы (MathCAD 2000)/

Исходными данными для реализации данного алгоритма являются: $K=0,45$, $K1=0,2$ – коэффициенты (обобщенная идентификационная характеристика динамической системы врезного шлифования, определяемая для

условий нагруження ТС до і після змінення частоти вращення заготовки відповідно); $R=30$ мкм; $P=200$ мкм – припуск; $V=30$ м/мин – окружна швидкість заготовки, $d=65$ мм – діаметр заготовки; $s=25$ мкм/об. – врезная подача шліфувального круга; $\delta=0,5$ мкм – допустиме радіальне биение деталі.

Так, алгоритм передбачає етапи: врезание, по досягненні суммарного сьема металу в 30 мкм – переход на понижену частоту вращення заготовки (с ω на ω_1), по досягненні частоти вращення ω_1 – етап установившегося шліфування для снятия оставшегося припуска і етап вихаживания с выполнением условия $X_i \geq \delta$, см. рис. 1. Выхаживание выполняется до тех пор, пока глубина шліфування на i -ом обороте X_i не стане менше допустимого радіального биения деталі δ . Данное условие необходимо для устранения погрешности, создаваемой самим шліфуванням.

На рис. 2 показан график–зависимость глубины шліфування и суммарного сьема металу от текущего оборота заготовки.

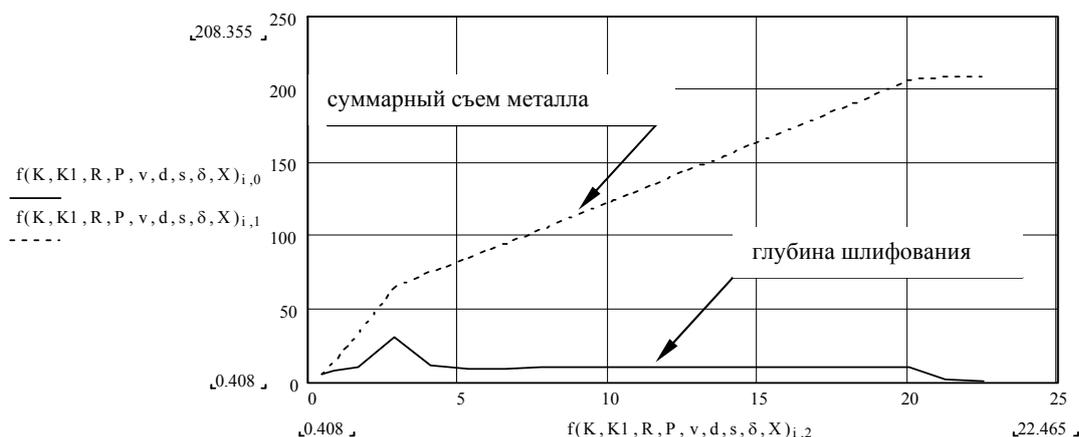


Рис. 2 Зависимость глубины шліфування и суммарного сьема металу от текущего оборота заготовки.

Вышеописанный алгоритм нормирования не учитывает ряд ограничений характерных при проектировании и эксплуатации круглошліфовальных станков с высокой производительностью, среди которых следует выделить следующие: появление прижогов вследствие превышения температуры шліфування, что может наблюдаться в процессе шліфування по вышеописанному способу (с изменением частоты вращення заготовки); износ шліфовальных кругов, превышающий допустимый и, как следствие, потеря их стойкости; дисбаланс круга. Все эти ограничения будут введены в последующем.

Литература

1. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Ч. 2., (Нормативы режимов резания). М. Экономика, 1990. – 473с.
2. Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Расчет глубины круглого врезного шліфування на основе его имитационной модели. // Вестник НТУ "ХПИ". Харьков: НТУ "ХПИ". - 2001.- Вып. 15.- С. 117-126.
3. Декларационный патент на винахід 50182А (Україна). Спосіб круглого врезного шліфування деталей / Ю.А. Сизый, А.В. Евтухов, В.Г. Евтухов. – Опубл. в Б.В., 2002, №10.

УДК 621.91

ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ФРИКЦИОННОЙ РАЗРЕЗКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ФРИКЦИОННОГО ДИСКА

Сизый Ю.А. докт. техн. наук, проф., Кулик Г.Г.

(г. Харьков, Украина)

In this article the results of theoretical and experimental investigation of the thickness friction disk influence on the cutting forces and specific cost have been described. The optimum value of the disk thickness have been based.

Фрикционная резка с вращением заготовки [1] обладает рядом преимуществ перед фрикционной резкой неподвижной заготовки – возможностью применения более тонких дисков и значительно меньшим шумом процесса резки.

Ранее в работе [2] получена формула расчета критической нагрузки $P_{кр}$ из условия устойчивости фрикционного диска. Согласно расчета по этой формуле критическая нагрузка на диск толщиной менее 1 мм при выступании диска из крепежных фланцев на величину 10 мм достаточно велика. Поэтому появляется надежда на резку круглых труб с их вращением дисками толщиной менее 1 мм, что возможно позволит значительно уменьшить энергозатраты на резку. В то же время [3] теоретические исследования влияния ширины источника тепла на температуру разрезаемой заготовки на поверхности контакта диска с заготовкой показали, что эта температура уменьшается с уменьшением температуры источника тепла при неизменной его интенсивности.

Таким образом, уменьшение толщины диска должно вести к уменьшению силы резания за счет уменьшения объема удаляемого металла при разрезке, но одновременно сила резания может с уменьшением толщины диска увеличиваться за счет уменьшения нагрева удаляемого металла заготовки. Следовательно, следует ожидать, что толщина диска имеет оптимальное значение, т.е. значение, при котором сила резания минимальна и минимальны затраты на разрезку.

Для определения оптимальной толщины диска выполнены эксперименты на установке, позволяющей осуществлять разрезку круглой трубы с её вращением при постоянном усилии подачи диска на трубу. Резание осуществлялось при скорости $V=100$ м/с и различных частотах вращения трубы. Резание производилось дисками толщиной 0,5 мм, 1 мм и 1,4 мм.

На основе выполненных экспериментов установлено, что устойчивость диска толщиной 0,5 мм значительно ниже расчетной. Это, очевидно, объясняется тем, что расчетная формула не учитывает исходного прогиба диска безусловно имеющую место в эксперименте. Установлено также, что сила резания диском 0,5 мм значительно выше её при резании дисками толщиной 1 мм и 1,4 мм. Причем минимальное значение силы резания наблюдались при разрезке диском 1 мм. Что подтверждает теоретический анализ теплофизики разрезки. Это значение толщины диска также соответствует минимуму удельной себестоимости разрезки. Следовательно, установлено, что толщина диска равная 1 мм является оптимальной.

Литература

1. Сизый Ю.А., Положий П.С., Кулик Г.Г. Фрикционная разрезка вращающегося проката. Сборник трудов межд. н.-т. конф. «Прогрессивные технологии машиностроения и современность». Донецк. – 1997.
2. Сизый Ю.А., Волкова Н.Н., Положий П.С. Статистическая устойчивость фрикционного диска. Известия вузов. Машиностроение. Вып. 10-12, 1992, с. 39-44
3. Сизый Ю.А., Кулик Г.Г. Описание и анализ температурного поля при фрикционной разрезке в заготовке с её вращением. Вестник НТУ «ХПИ», выпуск 3, 2002, с. 131-142

УДК 621.02.001.63.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА С МЕХАНИЧЕСКИМ КРЕПЛЕНИЕМ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Емельянов С.Г., докт. техн. наук, Яцун Е.И., канд. техн. наук, Мерзоева М.С.
(г. Курск, Россия)

In the given activity the problems of an effective utilization of tools with SMP are reviewed.

Для повышения качества обрабатываемых поверхностей, производительности процесса резания и увеличения периода стойкости металлорежущего инструмента на современных промышленных предприятиях производится переход от инструмента с напайными твердосплавными пластинами к неперетачиваемым сменным многогранным пластинам (СМП).

Особенно актуальна эта задача при различных видах механической обработки трудно обрабатываемых материалов, таких как сталь 40Х, 40ХН, 12ХНЗА, 25ХГТ, а также термообработанных с твердостью до НВ 320.

Использование прогрессивного металлургического и металлообрабатывающего оборудования позволяет получить высококачественные СМП различной формы, степени точности, которые применяют для оснащения сборного металлорежущего инструмента.

Благодаря преимуществам инструмента с СМП его широко используют на станках с ЧПУ, автоматических линиях, многоцелевых станках, т.е. там, где требуется высокая надежность, быстро сменность и взаимозаменяемость.

Классификация системы обозначений, формы обозначений и формы СМП приведены в ГОСТах 1842-80, 19043-80, 24257-80.

Проведенный анализ литературных источников показал, что для производства пластин в основном используют как различные марки твердых сплавов (ВКЗМ, ВК6, ВК6-ОМ, ВК8, ВКЦ-ОМ, ТТ20К9, ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б, Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, КНТ16, ТН20 и др.), так и стандартные сплавы с покрытиями TiC, TiN, Al₂O₃, и пр. Важно отметить, что СМП из прочных сплавов с тонкими (толщиной 5-15 мкм) покрытиями характеризуются высокой износостойкостью и прочностью. Обладают стойкостью при резании в 2-3 раза большей, чем пластины без покрытий. При постоянной стойкости достигается повышение скорости резания на 25-30%. Силы резания уменьшаются на 15-20%. Температура в режущем клине при обработке снижается на 20-25% [1]. Применение многослойных покрытий позволяет повысить стойкость в среднем в 1,5 раза по сравнению со стойкостью однослойных покрытий. Однако, несмотря на более высокую стоимость СМП с покрытиями, затраты потребителя на обработку единицы продукции по сравнению с аналогичными затратами при применении непокрытых пластин ниже, благодаря повышению либо стойкости инструмента, либо скорости резания и производительности.

Правильный выбор СМП в соответствии с выполняемой операцией и обрабатываемым материалом, а также соответствующих режимов резания позволяет повысить производительность обработки по сравнению с использованием обычных режущих пластин.

Различные конструктивные исполнения СМП, а именно, ромбические, квадратные, трехгранные, пятигранные, шестигранные, восьмигранные, круглые, параллелограммные, прямоугольные, форма вершины которых также имеет различную конфигурацию: острая, округлая, с упрочняющей фаской и округленная, позволяют использовать их практически во всех видах сборных инструментов.

По назначению пластины разделяют на режущие, стружколомы и опорные. Классифицируются пластины по форме, наличию заднего угла, классу допуска, наличию отверстия и стружколомающих канавок; опорные – по форме и наличию заднего угла; стружколомы – по форме.

Как известно, процесс резания всегда связан со снятием припуска с обрабатываемой детали в виде стружки. Для создания наилучших условий для отвода стружки из зоны резания необходимо обеспечить дробление и завивание стружки в спираль определенной длины. Наиболее оптимальным способом решения этой задачи является правильно выбранная геометрия режущей пластины и создание различных препятствий на передней поверхности пластин в виде лунок, канавок, выступов, так называемых стружколомов. Следует отметить, что пластины с двойной лункой на передней поверхности обеспечивают лучшее стружкодробление и отвод стружки по сравнению с СМП, передняя поверхность которых плоская или с одной лункой.

Изготовители сменных пластин, такие как MKTS-HERTEL(Москва), Sandvik Coromant (Швеция), Kennametal (США), Ptansec (Австрия), Krupp Vidia и Hertel (Германия), ISCAR(Израиль), , Mitsubishi, Toshiba, Sumitomo electric (Япония) и др. освоили и выпускают широкую гамму сменных пластин, различной формы и размеров, формы передних поверхностей, позволяющих стабильно дробить и отводить стружку практически в любом диапазоне подач и глубин.

Ряд отечественных изготовителей пластин и в первую очередь MKTS-HERTEL (Москва), выпускают СМП, форма передних поверхностей, которых базируется на лучших отечественных и зарубежных разработках. Это широко универсальные пластины с тороидальным отверстием, которые используют в конструкциях режущих инструментов. Форма передней поверхности для таких пластин (ГОСТ 27301-87) может быть и с одной лункой, нормальной или укороченной длины, где ширина ленточки не превышает 0,07 мм. Эта форма позволяет устойчиво дробить и отводить стружку при подаче $S = 0,05 - 0,2$ мм/об при глубине резания $t = 0,3...2,5$ мм.

Внедрение конструкций инструмента с СМП в среднем обеспечивает уменьшение времени на восстановление режущих свойств инструмента в 2-3 раза; сокращение машинного времени на 25-40%; увеличение стойкости в 1,5 раза; сокращение в обращении необходимого инструмента 2-3 раза.[2]

В литературных источниках приводятся различные способы крепления пластин к корпусу инструмента, но, несмотря на многообразие конструктивных решений в производстве используют в основном только четыре базовых способа крепления, основные схемы которых в соответствии с классификацией ISO 5608-80 и ГОСТ 26476-85 приведены на рис. 1.

Основные требования, предъявляемые к способам крепления пластин: жесткое крепление и базирование, простота и быстротемность, высокая повторяемость установки, хорошее стружкодробление.

Необходимо также отметить преимущества режущего инструмента, оснащенного СМП. [3]

1. Отсутствие в твердосплавной пластине внутренних напряжений, формирующихся при пайке твердого сплава, которые существенно уменьшают запас прочности твердых сплавов и приводит к образованию трещин.
2. Высокое качество заточки режущих кромок и идентичность геометрии всех граней пластин.
3. Возможность применения твердых сплавов более низкой прочности и высокой износостойкости, что позволяет повысить скорости резания и производительность обработки.
4. Простота замены затупившихся пластин, что резко сокращает вспомогательное время на замену и настройку режущего инструмента.
5. Экономия дефицитного вольфрама, так как возврат использованных сменных пластин на вторичную переработку составляет 90% по сравнению с 15% для напайных пластин.

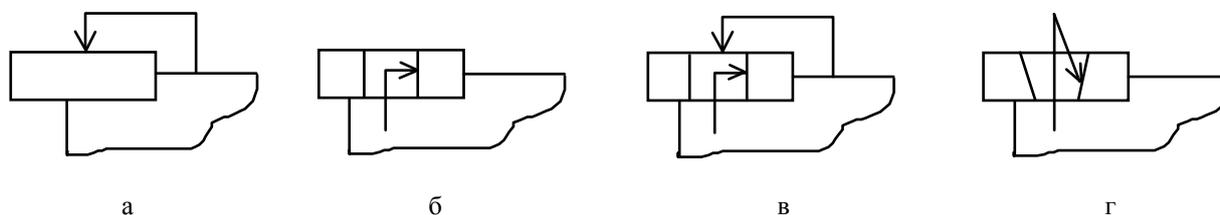


Рис.1. Схемы механического крепления пластин: а – сверху прихватом; б – через отверстие подвижным штифтом; в – сверху прихватом и через отверстие штифтом; г – винтом через отверстие.

Литература

1. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник/ В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйгманс, В.А. Фальковский и др. – М.: Машиностроение, 1988, -368 с.
2. Андреев В.Н. Совершенствование режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1989 – 256 с.
3. Музыкант Я.А. Металлорежущий инструмент: Номенклатурный каталог. В 4-х ч. Ч.1. Токарный инструмент. М.: Машиностроение, 1995. – 416 с.: ил.

УДК 621.923

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА АЛМАЗНОГО КРУГА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ШЛИФОВАНИИ

Набока Е.В., канд. техн. наук, Приходько О.Ю., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The diagram of the main factors of relief of abrasive tools has being presented. The law of distribution of height of grains projection under bond surface has being proposed. The function of distribution of diamond volume in the diamond carried layer is defined.

Рельеф инструмента, формируемый электроразрядами и ультразвуком связан с алмазонасной композицией, которая характеризуется размером зерен, их формой, концентрацией и расположением их в связке. Он может быть достаточно полно охарактеризован следующими основными показателями: общая высота рельефа h , высота режущего рельефа h_p , удельное число зерен рельефа $Z_{y\partial}$ и закон распределения их высот выступания $\varphi(x)$, степень выравнивания высоты зерен в верхней части рельефа, равномерность их расположения (распределения), расстояние между зернами, форма зерна, геометрия его режущей части (исходная и рабочая), микро- и субмикрорельеф (режущие кромки), неровности поверхности связки и ее шероховатость.

Кроме того, рельеф включает и такие показатели, как объем алмазов и объем межзеренного пространства в слое рельефа, прочность удержания зерен в связке, стабильность и износостойкость режущей части инструмента при работе. Расчет объемов алмазных зерен V_a и межзеренного пространства выполняется численным методом с разбивкой слоя рельефа на микрослои V_i и суммированием этих слоев

$$V_a = V_1 + V_2 + \dots + V_m = \sum_1^m V_i.$$

Объем межзеренного пространства режущего рельефа круга, сформированного при алмазно-искровом шлифовании с ультразвуком, примерно в 1,2-1,8 раза больше, чем при обычной обработке, что говорит о резервах повышения производительности. Например, при плоском шлифовании твердого сплава для кругов АС6-М1 100 % с площадью рабочей поверхности инструмента 100 мм² объем межзеренного пространства составляет, соответственно: 4,8 и 2,6 мм³ (зернистость 100/80); 6,3 и 4,4 мм³ (160/125), 7,2 и 5,5 мм³ (250/200).

Формирование режущего рельефа инструмента при действии разрядов и колебаний происходит вследствие устранения связки из межзеренного пространства как бы опусканием ее уровня, а режущие зерна приобретают новую траекторию движения и более активно контактируют с металлом; место контакта срезаемого металла с зерном перемещается по его передней поверхности и попеременно включает в работу новые участки режущего элемента: контакт делается прерывистым, что способствует более активному проникновению на контактируемые поверхности смазочно-охлаждающей жидкости, а также снижению сил трения [1].

При этом зерна, удерживающиеся в связке, остаются на ее поверхности, образуя режущий рельеф. Чтобы получить рельеф инструмента с определенной высотой выступания зерен, достаточно сместить положение поверхности связки относительно номинала.

При электроэрозионном воздействии на инструмент формируется рельеф с высотой выступания зерен, близкой к половине средней величины зерна ($h_p < d_3/2$). В условиях шлифования под действием сил резания, ударных нагрузок вибраций и износа эта величина уменьшается и обычно лежит в пределах $h_p \approx (0,3 - 0,5)$. Большие значения имеют место при более прочном удержании зерен в связке, при меньших нагрузках и при малом износе. При этом для обеспечения увеличенного выступания зерен необходима повышенная мощность (энергия) электрических импульсов при правке.

Для каждой зернистости существует оптимальная высота выступания зерен, при которой допустимому износу будет соответствовать наибольшая производительность [2]. При увеличенном выступании зерен возрастает вероятность воздействия на него нагрузок, при которых зерно может не удержаться в связке, что приведет к интенсификации износа. При слишком малой высоте выступания зерна возможно контактирование связки с металлом, ухудшается размещаемость стружки и снижается потенциальная величина внедрения режущего зерна в металл, т.е. производительность снижается.

Число зерен на поверхности инструмента можно получить, зная их количество в единице объема алмазонасного слоя Z_v (при определенной концентрации K), что определяется по их числу в единице веса алмазного порошка Z_p , шт/мг:

$$Z_v = 0,00878 K \cdot Z_p, \text{ шт/мм}^3.$$

На основании метода правдоподобных распределений и допущения, что характер распределения зерен на поверхности круга близок к равномерному, с учетом размера зерна d_3 и коэффициента их выступания над связкой α рассчитывается удельное число зерен:

$$Z_{y\partial} = 0,048 \cdot K \cdot d_3^2 \cdot \alpha.$$

Практика показывает, что после правки инструмента действительный рельеф имеет характер распределения, близкий к равномерному. В то же время необходимо иметь ввиду, что при работе круга рельеф изменяется за счет силового воздействия и износа, что воспринимается, в первую очередь, верхними участками наиболее выступающих зерен. Измерения показали, что распределение высот выступания зерен в ряде случаев может со-

храняться равномерным, но в большинстве случаев подчиняется закону Вейбулла. При этом для выполнения расчетов в каждом конкретном случае необходимо иметь экспериментальные данные. Отметим, что распределение вершин зерен а слое рельефа, полученное экспериментально, достаточно точно описывается.

Предложено рассматривать расстояние между зернами на поверхности инструмента как случайную величину τ , характеризующую расстояние от какого-либо зерна до ближайшего и в расчетах использовать математическое ожидание этой величины, считая поверхность круга с расположенными на ней зернами равномерным пуассоновским полем λ , можно получить функцию распределения, плотность вероятности, математическое ожидание и дисперсию расстояния между зернами [3]:

$$F(r) = 1 - e^{-\lambda r^2 \operatorname{tg} \alpha}; \quad \varphi(r) = 2\lambda r \operatorname{tg} \alpha \cdot e^{-\lambda r^2 \operatorname{tg} \alpha};$$

$$\mu(r) = \int_0^{\infty} r^2 \cdot \lambda \operatorname{tg} \alpha \cdot e^{-\lambda r^2 \operatorname{tg} \alpha}; \quad D(r) = \frac{4 - \pi}{4\pi\lambda}.$$

Действительное расстояние между соседними зернами в процессе работы отличается от его значения в статике, что необходимо в ряде случаев учитывать при расчетах.

Основными морфологическими структурами алмазных зерен до работы являются системы кливажа, полигональные трещины с фрагментами, выбоины, системы оствидных субмикроскопических лунок. Более прочные зерна имеют более ровную, гладкую поверхность.

При алмазно-искровом шлифовании в результате косвенного действия разрядов зерна приобретают дополнительные микро- и субмикроромки, способствующие повышению их режущей способности.

Рельеф поверхности связки является следствием образования микрокромки под действием электрических разрядов, величина которых не велика, и лунок, оставшихся от алмазных зерен, появляющихся при подготовке инструмента к работе и в процессе работы. Эти лунки по размерам соизмеримы с размерами зерен. Шероховатость связки способствует лучшему поступлению смазочно-охлаждающей жидкости в зону шлифования.

Литература

1. Набока Е.В. Интенсификация алмазно-искрового шлифования ультразвуковыми колебаниями. Резание и инструмент в технологических системах. Харьков, - 1997. Вы. 51.
2. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования, - Харьков, Вища школа, 1985.
3. Комбинированные процессы шлифования. Г.В.Новиков, Д.Е.Анельчик, Е.В.Набока, Ф.В.Новиков. - Харьков, 1997.

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 669.268.7

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОВЫШЕННОЙ ЖАРО- И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

**Цюрюпа В.Н., канд. техн. наук, Любченко А.П., докт. техн. наук, проф.,
Сатановский Е.А., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)**

For the first in the world practice the composition of the electrolyte which allowed to obtain dispersible, hard, wear resistance and thermal environmental resistance coatings with demanded tungsten content (from 0,05 to 1%) was developed.

Микролегирование электроосажденных металлов – один из эффективных методов создания покрытий с заданными свойствами. Разработанные и внедренные хромовые покрытия, легированные молибденом и ванадием, характеризуются высокой износостойкостью, однако обладают различной твердостью, пластичностью, жаростойкостью. Однако, реализуемые в этих типах покрытий свойства не всегда удовлетворяют возросшим требованиям, предъявляемым современным машиностроением к материалам тяжело нагруженных узлов.

Авторами разработано хром-вольфрамовое покрытие, сравнительные испытания которого показали, что оно обладает комплексом улучшенных физико-механических характеристик по сравнению с хромовым, хром-молибденовым или хром-ванадиевыми покрытиями.

Хром-вольфрамовое покрытие характеризуется хорошей адгезией к различным сталям, включая высоколегированные, а также к поверхностям, упрочненным ТВЧ и азотированием. В процессе деформации образцов из высоколегированных сталей с покрытием хром-вольфрам толщиной 200 мкм покрытие практически не отслаивается, а деформируется вместе с основным металлом, что является свидетельством его пластичности.

Твердость покрытия хром-вольфрам достигает 11000-12000 МПа, причем ее высокие значения сохраняются при нагреве до 650°C.

При разработке износостойких покрытий учитывается, что в основном они эксплуатируются при повышенных температурах, что делает условия их службы чрезвычайно тяжелыми из-за химического воздействия среды. Легирование хромового покрытия вольфрамом повышает его сопротивляемость химическому разрушению при высоких температурах, ему присущи качества, характеризующие все жаростойкие материалы, в том числе неизменность свойств в течение длительного времени при высоких температурах эксплуатации.

Испытания на износ образцов и натуральных деталей показали, что износостойкость покрытия хром-вольфрам выше износостойкости хромового, хром-молибденового и хром-ванадиевого покрытий, а износ сопряженного материала меньше.

Известно, что хромовое покрытие в значительной степени снижает работоспособность стальных деталей при переменных нагрузках. Нами установлено, что легирование хрома вольфрамом способствует уменьшению отрицательного влияния покрытия на характеристики конструкционной прочности.

Микролегирование вольфрамом хромовое покрытие внедрено в серийное производство в ГП «Завод им. Малышева» для упрочнения широкой номенклатуры сложнопрофилированных нагруженных деталей типа втулок, колец, валков и др.

УДК 621.98.04:621.822.5:62-419.4.002

О ВЫБОРЕ РЕЖИМА ТЕРМООБРАБОТКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

**Лобанов В.К., докт. техн. наук, проф., Гулюк А.А., Чуйкова Е.В.
(г. Харьков, Украина)**

The work is devoted to research of properties of an antifriction alloy AMO1-20 at various modes of heat treatment. Optimum temperature annealing of preparations is determined at 340±10°C.

Крупногабаритные транспортные дизели типа 10Д100М и Д80 комплектуется биметаллическими подшипниками скольжения с алюминиево-оловянным сплавом АМО1-20 на стальном основании. Полосы из биметалла, используемые для штамповки заготовок вкладышей, изготавливаются сваркой энергией взрыва в ГКБ «Южное» (г. Днепропетровск). При этом способе антифрикционный слой под воздействием ударной волны наклепывается, твердость увеличивается с 28...32 единиц до 44...48 НВ. Опыт использования сталеалюминиевых подшипников скольжения, работающих без мягкого покрытия с колечатым валом из высокопрочного чугуна, показал, что наиболее устойчиво работают вкладыши с твердостью алюминиево-оловянного слоя в интервале 26...32 НВ. В связи с этим возникла необходимость разработки режима термообработки биметаллических заготовок, полученных сваркой взрывом, обеспечивающего заданную твердость при сохранении антифрикционных свойств сплава АМО1-20 и его прочности сцепления со стальной основой не менее 60 МПа.

Представленная работа выполнялась на образцах, вырезанных из биметаллических полос в соответствии с ТУ 1-99-99. Вырезанные образцы термообработывали в электропечи по режиму: нагрев в интервале температур

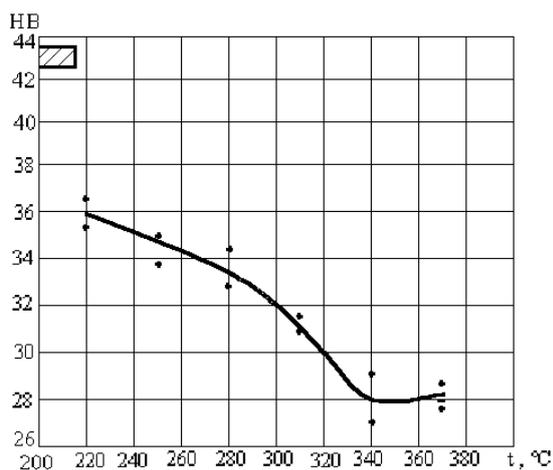


Рисунок. Зависимость твердости сплава АМО1-20 от температуры отжига. (Площадкой на ординате отмечено значение твердости в нетермообработанном состоянии)

от $220 \pm 10^\circ\text{C}$ до $370 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка – 3,5 часа и охлаждение на воздухе. Исследовали твердость антифрикционного сплава АМО1-20, химический состав, микроструктуру, а также прочность сцепления со стальной основой.

На рисунке приведена зависимость твердости сплава АМО1-20 от температуры последующего отжига. Твердость монотонно уменьшается с увеличением температуры отжига, минимальное значение зафиксировано при $t=340^\circ\text{C}$.

Дальнейшее увеличение температуры не снижает твердости, но сопровождается значительным выпотеванием олова по периметру заготовки.

Химический состав антифрикционного сплава, представленный в таблице, практически не изменяется.

Исследование микроструктуры показало равномерность распределения включений олова в α -твердом растворе алюминия, отсутствие дефектов в виде пор и других несплошностей по линии соединения сплава АМО1-20 со стальной основой, при всех исследованных режимах отжига.

Таблица

Химический состав сплава АМО1-20 после отжига при $340 \pm 10^\circ\text{C}$

Состояние материала	Химический состав						
	Основные элементы			Примеси			
	Sn	Cu	Al	Si	Fe	Mn	Др. примеси
Оттоженный при температуре $340 \pm 10^\circ\text{C}$	19,9	1,0	остальное	0,1	0,1	0,02	0,35
Требования ТУ 1-99-99	17,5-22,5	0,7-1,2	остальное	0,5	0,5	0,02	< 0,5

При испытании термообработанных образцов на прочность сцепления слоев установлено, что сопротивление отрыву составляет 79...83 МПа, что соответствует значениям полученным на биметаллических пластинах в исходном состоянии и требованиям технической документации на полосы биметаллические для дизелей теплового.

В результате проведенной работы разработан оптимальный режим термообработки заготовок биметаллических подшипников скольжения, обеспечивающий снижение твердости алюминиево-оловянного сплава на полосах, полученных сваркой энергией взрыва при сохранении заданного уровня антифрикционных свойств и прочности сцепления со стальной основой.

УДК 669.15.018.45.24

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРСТОЙКОСТИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

Лобанов В.К., докт. техн. наук, Глушкина А.В., Гаркушенко В.А.,
Кислицын В.П., Лучко С.Т., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The preliminary researches of the heat resisting characteristics steels X18H9TЛ, 20X25H19C2Л and 20X20H14C2Л are carried out at temperatures 600, 700, 800°C and their features are shown at short-term and long tests.

В работе выполнено сравнительное исследование свойств среднелегированных и высоколегированных Cr-Ni сталей при повышенных температурах, применяемых для ответственных деталей при литье по выплавляемым моделям [1].

Проведен анализ 3 марок жаростойких Cr-Ni сталей, наиболее часто применяемых в специальном машиностроении: X18H9TЛ, 20X25H19C2Л и 20X20H14C2Л.

Для объективной оценки жаростойкости сталей термообработанные образцы подвергались испытаниям на кратковременную прочность при температурах 600, 700, 800°C, длительную прочность при 700°C и удельной нагрузке 120 МПа/мм².

Установлено, что наибольшей кратковременной прочностью в исследованной области температур характеризуется высоколегированная аустенитно-ферритная (А-Ф) сталь 20X20H14C2Л. У среднелегированной аусте-

нитной (А) стали Х18Н9ТЛ этот показатель на 3-20% ниже, чем у остальных исследованных высоколегированных сталей. Длительная же прочность этой стали наиболее высокая и превосходит высоколегированные – в 1,5 раза для стали 20Х20Н14С2Л и в 3 раза для стали 20Х25Н19С2Л.

Исследование микроструктуры изученных сталей свидетельствует, что заметные границы зерен, являющиеся зародышами вероятной межкристаллитной коррозии (МКК) начинают проявляться у стали Х18Н9ТЛ при 700°C и четко формируются – при 800°C. После испытаний на длительную прочность при 700°C строение границ зерен либо сохраняется, либо несколько расширяется. У высоколегированной стали 20Х20Н14С2Л при 850°C границы зерен едва заметны, а у стали 20Х25Н19С2Л при этой же температуре во многих местах фиксируется четко выраженные микронадрывы типа МКК.

Повышенная длительная прочность среднелегированной стали Х18Н9ТЛ при 700°C по сравнению с исследованными высоколегированными сталями свидетельствует о замедленном протекании в этой стали процессов МКК. Это можно объяснить, с одной стороны, оптимальным сочетанием Сг и Ni (2:1), с другой – компенсирующим влиянием Ti, как сильного карбидообразующего элемента [2, 3].

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что для обоснованного выбора марки жаростойкой стали при изготовлении деталей с повышенными тепловыми нагрузками необходимо учитывать не только ее кратковременную прочность при повышенных температурах, но и длительную прочность, которая во многом определяет склонность к МКК. В частности, среднелегированная сталь Х18Н9ТЛ, уступая более высоколегированным сталям 20Х25Н19С2Л и 20Х20Н14С2Л по абсолютному уровню жаростойкости (кратковременной прочности), значительно превосходит по эксплуатационной надежности (длительной прочности) до температур 700-750°C. Высокая стабильность механических свойств при комнатной температуре в сочетании с удовлетворительными технологическими свойствами позволяют рекомендовать эту сталь для отливки заготовок деталей, работающих при температурах до 700-750°C.

УДК 533.9, 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ

Колодяжный А.В., канд. техн. наук, Чернобрышко М.В., канд. техн. наук,

Вакуленко К.В., Меша Ю.В.

(г. Харьков, Украина)

The process of a brazing on an example of soldering end faces of two thick cylinders is researched. The heating of solder is offered to be made by a impulse of a strong current. The two-dimensional problem of a transient heat conduction is considered.

С появлением высокопрочных припоев широкое развитие получила технология высокотемпературной пайки, поскольку прочность получаемого соединения не уступает, а порой и превосходит прочность основного материала. Однако, прогревание слоя припоя традиционными методами ведет к разрушению основного материала в области нагрева, что вызывает снижение качества получаемой продукции. С этой точки зрения целесообразно применять такой метод разогрева, при котором переход припоя в расплавленное состояние осуществлялся бы за время малое по сравнению со временем изменения состояния паяемых конструкций. Это можно осуществить путем быстрого введения в припой достаточного количества энергии, что обычно имеет место при сообщении проводнику импульса тока большой плотности. Подобные эксперименты по свариванию деталей приведены в [1, 2] Таким образом предлагается производить разогрев припоя по принципу электрического взрыва фольг в медленном режиме (что обеспечивает их плавление и разрыв на более крупные капли).

Широкий круг наиболее распространенных типов соединений рассмотрен в [3]. Такие типы соединений, как внахлестку (телескопические – для труб, оболочек, теплообменников) и стыковые (прямые или скошенные торцы стержней или слоев), можно реализовать, применяя технологию высокотемпературной пайки.

Для получения нахлесточного (телескопического) соединения его длина при заданном припое, типе материала и толщине шва определяются экспериментально.

Так, при соединении патрубков тонкостенной трубной доски из стали 1Х18Н10Т толщиной 2 мм и внутренним диаметром 38 мм с пучком труб из той же стали наружным диаметром 38мм и $\delta=3$ мм припоем ВПр-42 толщиной $\delta_n=50$ мкм при одном обходе периметра телескопического соединения сваркой было получено по длине шва: зона сварки $\Delta l_{св}=3...5,5$ мм; промежуточная зона (сварка и пайка) - $\Delta l_{пр}=3$ мм, и зона пайки $\Delta l=3,5-4$ мм. Таким образом, получено сварно-паяное соединение длиной $\Delta l \geq 10$ мм вакуумплотное, щелевая коррозия снизилась примерно в 8-10 раз (за счет пассивации шва с противоположной относительно сварки стороны). При пайке телескопических или нахлесточных соединений противоположные стороны швов необходимо герметизировать (термостойким лаком или пастой) для защиты от окисления многокомпонентных аморфных припоев.

Особый интерес представляют стыковые соединения.

Стыковые соединения прутков или пластин (плит, оболочек) производятся по следующей схеме: стыковые поверхности торцуются, обрабатываются наждачной шкуркой «0» или «1», стальной щеткой для создания заметной шероховатости; обезжириваются, выставляется зазор 0,05...0,15мм (или прокладывается в зазор 2-3 слоя ленты припоя ВПр42, толщиной 0,25мкм, всего $\delta_2=50...75$ мкм, герметизируется термостойким лаком и производится нагрев сборки (зоны соединения) до температуры меньше температуры солидуса припоя ($T < T_{сол. пр}$) $\approx 1050^{\circ}\text{C}$ в течении $t=0,8$ мин., а затем быстро $t=1$ с производится подъем температуры до $T \geq T_{сол. пр} \approx 1150^{\circ}\text{C}$).

Исследуя температуру в плоскости припоя, можно прогнозировать поведение последнего под действием температурного нагружения.

Проводились численные исследования для конкретных образцов. Рассматривался цилиндрический образец длиной 50 мм с диаметром 10 мм из стали Х10Н10Т. Температура плавления припоя принималась 1150⁰С. Тепловая нагрузка на торцах - 1200⁰С. Полученные результаты численных расчетов приведены в табл. 1 – 3.

Анализ табличных данных дает возможность сделать вывод о том, что 15 с достаточно для прогрева области припоя и прилегающих частей стержней до температуры плавления припоя.

Таким же образом, только плоским индуктором или прогревом и пайкой струей газа (или сваркой) производится пайка встык плоских швов плит, оболочек и труб.

Литература

1. Шифф Д. Сваривание деталей при помощи взрывающейся фольги. В кн. Взрывающиеся проволоочки / под ред. А.А. Рухадзе. М.: изд - во иностр. лит., 1963. – С. 255 - 259.
2. Электрический взрыв проводников / под ред. А.А. Рухадзе и И.С. Шпигеля. М.: Мир. - 1965. - 354 с.
3. Кривошей А.В. Инженерный расчет многокомплексных эвтектических припоев // Современные методы пайки. – Киев: ИЭС им. Патона, 1982. – С 19 - 27.
4. Колодяжный А.В., Вакуленко К.В., Чернобрышко М.В. Ярещенко В.Г. Учет тепловыделения при соударении цилиндрических оболочек с различными скоростями скольжения // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 10 – 11 октября 2002 г.- Харьков: ХНПК "ФЭД", 2002.- С. 272 - 275.

УДК 539.3:537.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Пантелят М.Г., канд. физ.-мат. наук, Шульженко Н.Г., докт. техн. наук, проф.
(г. Харьков, Украина)

The paper presents mathematical models, numerical algorithms and software for coupled magneto-thermal-mechanical computer simulation of induction heating devices as well as an example of obtained numerical results.

Постановка задачи

Индукционное технологическое оборудование находит широкое применение в современной промышленности Украины, стран СНГ и дальнего зарубежья. В процессе эксплуатации индукционного технологического оборудования имеют место сложные взаимосвязанные процессы изменения электромагнитного, теплового и механического состояния, которые определяют протекание и конечный результат технологических операций. При этом предъявляются весьма жесткие требования к технологическим режимам индукционной обработки, а также к тепловому и механическому состоянию обработанных изделий. В зависимости от конкретного вида технологической операции такими требованиями могут являться: обеспечение заданной температуры поверхности или объема изделия; обеспечение требуемых скоростей нагрева и охлаждения изделия; обеспечение требуемого малого уровня деформаций обработанных изделий; отсутствие или наличие пластических деформаций материала изделий; обеспечение заданной величины твердости и фазового состава изделия; отсутствие коробления изделия в процессе нагрева и после его окончания и др.

В связи с этим на стадиях разработки и эксплуатации технологического оборудования необходимо выполнить комплекс исследований по определению технологических режимов и конструктивных параметров, обеспечивающих выполнение указанных требований для конкретных видов технологических операций. К требующим определения режимам и параметрам относятся: частота электромагнитного поля; электрическое напряжение на индукторе установки или сила тока в нем; продолжительность нагрева изделия; продолжительность охлаждения изделия; вид охлаждающей изделие среды (воздух, вода, масло) и ее скорость, а также особенности конструкции индукторной системы индукционного оборудования: количество и взаимное расположение индукторов; число витков, диаметры, длины индукторов; величины воздушных зазоров между индукторами и изделием; использование магнитопроводов из ферромагнитных материалов и др.

Современные экономические условия требуют резкого снижения затрат на разработку и эксплуатацию промышленного технологического оборудования. В связи с этим решение поставленной выше задачи определения режимов и параметров индукционной термической обработки изделий целесообразно осуществлять методами сравнительно дешевого компьютерного моделирования без использования дорогостоящих натуральных экспериментальных исследований.

Основные соотношения

В Институте проблем машиностроения НАН Украины (Харьков, Украина) впервые разработаны [1, 2] адекватные математические модели, высокоэффективные численные алгоритмы и прикладное программное обеспечение для компьютерного моделирования связанного электромагнитного, теплового и механического состояния индукционного электротермического оборудования и определения на этой основе технологических режимов и конструктивных параметров оборудования, обеспечивающих выполнение заданных требований к тепловому и напряженно-деформированному состоянию изделий.

При выполнении работы получены основные уравнения, описывающие связанные электромагнитные, теп-

ловые и механические процессы в осесимметричных конструкциях электротермического оборудования с учетом основных физических явлений и процессов, таких как зависимость электрофизических, тепловых и механических свойств материалов от температуры; особенности нелинейного поведения ферромагнитных материалов в нестационарных электромагнитных полях; особенности фазовых превращений при термической обработке изделий; явления контактного взаимодействия элементов конструкций изделий и др.

Распределение электромагнитного поля в индукционном технологическом оборудовании описывается системой уравнений Максвелла в пренебрежении токами смещения [3]. Вводя векторный магнитный потенциал A , получим известное уравнение в частных производных для электромагнитного поля в цилиндрической системе координат [3]:

$$\sigma \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\mu r} \frac{\partial}{\partial r} r A \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial z} \right) + J_S. \quad (1)$$

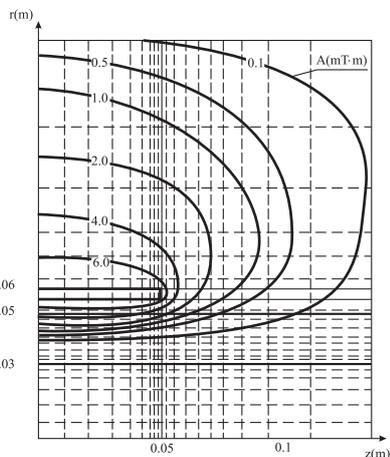
Распределение температуры в индукторе и обрабатываемом изделии описывается нестационарным осесимметричным уравнением теплопроводности [4]

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r K \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q. \quad (2)$$

Осесимметричное напряженно-деформированное состояние описывается системой уравнений [5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} - \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} + F_r &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + F_z &= 0; \\ \varepsilon_{rr} &= \frac{\partial u_r}{\partial r}; \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \\ \gamma_{rz} &= \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}; \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u_r}{r}. \end{aligned} \quad (3)$$

Рис. 1. Установка для импульсного индукционного нагрева: 1 – одновитковый индуктор; 2 – обрабатываемое изделие (стальная трубка); 3 – диэлектрические подбласти (воздух).



В уравнениях (1) – (3) использованы следующие обозначения: σ – удельная электрическая проводимость материала; μ – магнитная проницаемость; J_S – плотность тока стороннего источника; ρ – плотность материала; c – удельная теплоемкость; K – теплопроводность; q – объемная плотность внутренних источников тепла; σ_{rr} , σ_{zz} , $\sigma_{\theta\theta}$, τ_{rz} – компоненты тензора механических напряжений; ε_{rr} , ε_{zz} , $\varepsilon_{\theta\theta}$, γ_{rz} – компоненты тензора механических деформаций; u_r , u_z – радиальные и осевые перемещения; F_r , F_z – радиальная и осевая компоненты электромагнитных сил.

На основе приведенных уравнений разработаны эффективные численные алгоритмы решения полученных уравнений методом конечных элементов и итерационные методы и алгоритмы для учета взаимосвязей между процессами и явлениями различной физической природы (электромагнитные, тепловые, механические, фазовые превращения). Разработано и апробировано прикладное программное обеспечение для персональных компьютеров, предназначенное для исследования реального оборудования и технологических процессов. Подробное описание разработанных математических моделей, алгоритмов и программного обеспечения приведено в работах [1, 2].

Проведены комплексные исследования ряда реальных современных и перспективных технологических процессов и оборудования: высокоинтенсивный индукционный нагрев изделий в виде стальных трубок; предварительный индукционный нагрев железнодорожных колес для их подготовки к механической обработке; индукционный нагрев крупногабаритных изделий (дисков большого диаметра) химического и энергетического машиностроения.

Пример расчета

В качестве примера приведем результаты определения магнито-термомеханического состояния при высокоинтенсивном импульсном индукционном нагреве изделий в виде трубок из немагнитной стали 12X18H10T [1, 2]. Установка для импульсного индукционного нагрева, включающая одновитковый медный индуктор 1, обрабатываемое изделие (трубку) из немагнитной стали 2 и диэлектрические подбласти (воздух) 3, схематически представлена на рис. 1.

Импульс тока в индукторе представляется формулой [1, 2]:

$$i(t) = I e^{-bt} \sin 2\pi f t, \quad (4)$$

где I – максимальное значение тока в индукторе; f – частота; b – затухание.

В рассматриваемой установке $I = 111,6$ кА, частота электромагнитных колебаний $f = 8$ кГц, затухание $b = 0.3 \times 2\pi f$. Установка генерирует 1000 импульсов вида (4) в секунду.

Целью исследования является определению технологических режимов, обеспечивающих выполнение заданных требований к тепловому и напряженно-деформированному состоянию изделия (температура наружной поверхности 1100 °С, скорость нагрева 120-130 °С/с, незначительные деформации нагретого изделия).

Связанные уравнения (1)-(3) решались с соответствующими граничными условиями [1, 2]. При этом учитывалось воздушное охлаждение изделия (коэффициент теплообмена 50 Вт м⁻² К⁻¹, температура охлаждающего

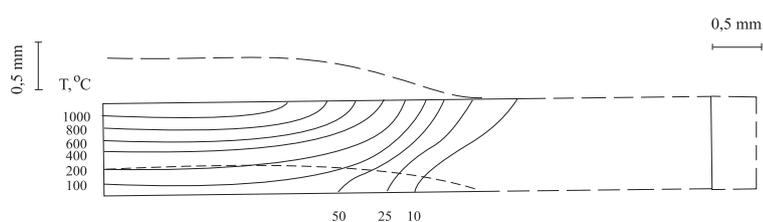


Рис.2. Распределение температуры и деформированное состояние изделия

напряжения, на внутренней – растягивающие. Радиальные и осевые перемещения нагретого изделия не превышают 0,5 мм. Подученные результаты свидетельствуют о корректном выборе технологических режимов обработки изделия (сила тока в индукторе, частота электромагнитных колебаний, продолжительность нагрева изделия, условия воздушного охлаждения).

Выводы

Разработанная методика позволяет исследовать также новейшие технологические процессы сборки и разборки изделий с использованием индукционного нагрева, индукционной закалки изделий, термической обработки металлических лент и др. По результатам исследований для каждого вида технологической операции могут быть выработаны конкретные практические рекомендации, представляющие реальный интерес для различных отраслей промышленности, по определению технологических режимов обработки изделий и конструктивных параметров оборудования, обеспечивающих выполнение заданных конкретных требований к состоянию изделий.

Литература

1. Пантелей М.Г. Компьютерное моделирование связанных магнитотермомеханических процессов при импульсном индукционном нагреве металла.– Доповіді Національної академії наук України. – 1998, № 1.– С. 41–48.
2. Pantelyat M.G. Coupled electromagnetic, thermal and elastic-plastic simulation of multi-impulse inductive heating.– International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics.– 1998, vol. 9.– P. 11–24.
3. Демирчян К.С. Моделирование магнитных полей.– Л.: Энергия, 1974.– 288 с.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности.- М.: Высшая школа, 1967.– 599 с.
5. Тимошенко С.П. Курс теории упругости.- Киев: Наукова думка, 1972.- 507 с.

УДК 539.3

ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФИКСИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЙ ПОСАДКОЙ

Шульженко Н.Г., д-р техн. наук, проф., Гонтаровский П.П., канд. техн. наук,

Пантелей М.Г., канд. физ.-мат. наук, Матюхин Ю.И., канд. техн. наук,

Гармаш Н.Г., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Results of numerical investigations of tool fixing by thermal stress fit and its release using induction heating are presented.

Вопросы крепления и замены обрабатывающего инструмента в станках имеют важное практическое значение. Одним из перспективных способов фиксации инструмента в патроне станка является напряженная посадка, которая осуществляется путем тепловой сборки. Замена инструмента осуществляется после тепловой разборки соединения. Тепловая сборка–разборка производится с помощью индукционного нагрева патрона без повреждения посадочных поверхностей патрона и инструмента.

Остановимся на основных проблемах, связанных с креплением инструмента этим способом. Натяг должен быть таким, чтобы с помощью трения надежно передавался крутящий момент, но в патроне не возникали пластические деформации. Пластические деформации выводят из строя патрон, т.к. увеличивается диаметр посадочной поверхности и ослабевает натяг. Максимальный натяг δ , который можно допустить, не превышая предела текучести σ_T материала патрона, можно оценить по приближенной формуле $\delta = \sigma_T \cdot r_n / E$, где r_n – радиус посадочной поверхности патрона; E – модуль упругости материала патрона. Отсюда следует, что предел текучести материала патрона должен быть как можно больше. Если $E \approx 2 \cdot 10^5$ МПа, а предел текучести не выше 400 – 500 МПа, то $\delta \approx 2 \cdot 10^{-5} r_n$. Например, при $r_n = 7$ мм натяг не должен превышать 14 микрон, что требует изготовления посадочных поверхностей с высокой точностью. Отметим, что натяг в 10 микрон вполне достаточен для работы соединения.

При разборке соединения необходим быстрый разогрев патрона с помощью индуктора. Мощность индуктора должна обеспечить перепад температур между патроном и инструментом примерно в 100°C. Для облегчения разборки следует выбирать материал патрона с большим коэффициентом линейного расширения

($\alpha \approx 1,4 \div 1,6 \cdot 10^{-5}$ 1/град) и небольшой теплопроводностью. Это позволит уменьшить разогрев инструмента.

Чтобы снизить требования к точности изготовления цилиндрических посадочных поверхностей, их можно делать коническими с углом конусности порядка 1–2 градуса. В этом случае натяг должен будет регулироваться температурой патрона, которая может определяться временем работы индуктора. В случае его перегрева увеличится натяг и возникнут необратимые пластические деформации патрона. В случае цилиндрических посадочных поверхностей заданный натяг обеспечивается независимо от начальной температуры патрона, что, безусловно, удобно. Так как при разборке соединения нагрев патрона несколько выше, чем при установке инструмента, что связано с гарантией его освобождения, то при сборке (в случае конических поверхностей) необходима пауза для охлаждения патрона до необходимой температуры. Из-за неравномерного охлаждения патрона вдоль оси величина натяга будет определяться минимальным диаметром инструмента, а полное схватывание произойдет после выравнивания температур. Необходимую температуру патрона можно обеспечить установкой термопары в районе минимального диаметра посадочной поверхности. В противном случае должны строго выдерживаться временные паузы между разборкой и сборкой соединения.

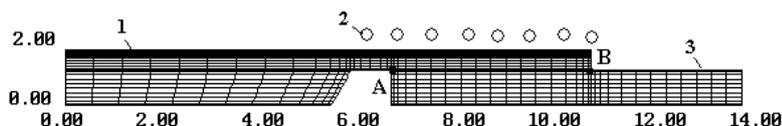


Рис. 1. Расчетная схема. 1 – патрон, 2 – индуктор, 3 – инструмент (размеры заданы в см)

Вихревые токи, которые являются источниками тепла при индукционном нагреве, затухают вглубь от наружной поверхности патрона по экспоненциальному закону, а глубина их проникновения обратно пропорциональна корню квадратному от частоты тока. При этом может использоваться как промышленная частота 50 Гц, так и частота до нескольких килогерц. Особенностью тепловой сборки при наличии трения между посадочными поверхностями является различие осевых деформаций патрона и инструмента, которое возникает после схватывания и небольшого проскальзывания деталей. Благодаря этой разности деформаций, которая сохраняется до конца сборки соединения и вызывает осевое растяжение патрона и осевое сжатие инструмента, возникает дополнительное контактное давление, составляющее около 30 %, по сравнению с давлением без учета трения. В качестве примера рассмотрим расчет соединения патрон–инструмент, меридиональное сечение которого с конечноэлементной сеткой приведено на рис. 1. Материал патрона – сталь со следующими свойствами: $k=0,27$ Вт/(см·град) – коэффициент теплопроводности; $\rho c=4$ дж/см³ – объемная теплоемкость; $\alpha=1,5 \cdot 10^{-5}$ 1/град – коэффициент линейного расширения; $E=2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости; $\nu=0,3$ – коэффициент Пуассона. Наружный радиус патрона 11 мм, внутренний – 7 мм. Материал инструмента – твердый сплав со свойствами: $k=0,27$ Вт/(см·град), $\rho c=3,6$ дж/см³, $\alpha=1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/град, $E=5,8 \cdot 10^5$ МПа, $\nu=0,25$. Радиус посадочной поверхности инструмента – 7,01 мм, ее длина – 40 мм. Таким образом, натяг между цилиндрическими поверхностями патрона и инструмента составляет 10 микрон.

Рассмотрим процессы разогрева патрона для сборки и разборки соединения с помощью индукторов с частотой тока 50 Гц и 1 кГц. Глубина проникновения источников тепла в первом случае составляет 2 мм, во втором – менее 1 мм. Максимальная мощность источников тепла внешней поверхности патрона составляет 1,25 кВт в первом случае и 5 кВт – во втором. Распределение источников тепла в патроне показано в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Распределение мощности (Вт) источников тепла в патроне для индуктора 50 Гц

z, см	r, см								
	0,9	0,925	0,95	0,975	1,0	1,025	1,05	1,075	1,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	1,865	3,095	5,8	8,34	13,7	22,5	37	60,8	100
2,5	5,6	9,3	15,2	25	41,1	67,5	111	182,5	300
3,5	11,2	18,6	30,5	50	82	135	222	365	600
4,5	23,5	39	64	105	172,5	283,5	466,5	766,5	1250
10,3	23,5	39	64	105	172,5	289,5	466,5	766,5	1250
10,5	9,3	16	25	42	168,5	112,5	185	304	500

Таблица 2

Распределение мощности (Вт) источников тепла в патроне для индуктора 1000 Гц

z, см	r, см								
	1,0	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0,40	1,92	4,8	11,52	0,28	68,2	166		400
2,5	0	1,44	5,76	14,4	34,6	84	204	297	1200
3,5	0	2,88	11,5	28,8	69	168	409	995	2400
4,5	0	6	2,4	60	144	350	852	2072	5000
10,3	0	6	2,4	60	144	350	852	2092	5000
10,5	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	3000

Анализ нестационарных тепловых полей и деформирования деталей при сборке–разборке проводился с помощью программного комплекса KROK [1]. При этом решались осесимметричные задачи теплопроводности и термоупругости в термомоноконтрактной постановке [2].

При моделировании процесса сборки–разборки на каждом временном шаге в ходе итерационного процесса определялись изменяющиеся во времени и заранее неизвестные зоны контакта и проскальзывания посадочных поверхностей. В зоне контакта учитывалась зависимость термического сопротивления от контактного давления, высоты микронеровностей, теплопроводности контактирующих материалов и от других свойств, для чего использовалась эмпирическая формула [3]

$$K_n(T, \sigma_n) = \frac{1,8K_{cp}(T)}{(h_1 + h_2)} + 80\bar{K}(T) \left(\frac{p_k - K}{3\sigma_B} \right)^{0,86},$$

где $K = 1$ при $h_1 + h_2 \geq 30$ мкм; $K = \sqrt[3]{30/(h_1 + h_2)}$ при $10 < h_1 + h_2 < 30$ мкм; $K = 15/(h_1 + h_2)$ при $10 < h_1 + h_2 < 10$ мкм; K_{cp} – коэффициент теплопроводности среды, заполняющей зазоры (Вт/(м·град)); h_1, h_2 – средняя высота микрошероховатостей соприкасающихся контактных поверхностей (мкм); \bar{K} – приведенный коэффициент теплопроводности контактирующей пары материалов

$$\bar{K}(T) = \frac{2K_1(T) \cdot K_2(T)}{K_1(T) + K_2(T)} \text{ Вт/(м·град)},$$

где K_1, K_2 – коэффициенты теплопроводности контактирующих тел; σ_e – временное сопротивление или предел прочности менее пластичного материала. Следует отметить, что основную роль в процессе теплообмена играет наличие или отсутствие контакта поверхностей.

На торце патрона ($z=0$) коэффициент теплообмена α принимался равным 10000 Вт/(м²·град), температура среды $T_{cp}=20^\circ\text{C}$, что соответствует отводу тепла внутрь станка. На остальных свободных поверхностях $\alpha=200$ Вт/(м²·град), $T_{cp}=20^\circ\text{C}$. Эти граничные условия соответствуют легкому обдуву поверхности воздухом, что необходимо для более быстрой сборки соединения патрон–инструмент, т.к. охлаждение через поверхность $z=0$ является довольно длительным процессом.

Решение задачи теплопроводности показывает, что для разогрева патрона в обоих случаях достаточно 4÷5 секунд. Выравнивание температуры после выключения индуктора длится около 8÷12 секунд, после чего температура в патроне падает за счет теплообмена с воздухом и отвода тепла в осевом направлении. Через 14÷16 секунд после выключения индуктора сборка станет невозможной.

В точках А и В (рис. 1) после сборки возникают местные пики напряжений, которые не играют существенной роли, т.к. края деталей обычно скруглены, что вместе с местной пластической деформацией снижает эти пики. Можно считать, что эта концентрация напряжений не сказывается на надежности соединения.

Для разборки соединения необходима более высокая температура разогрева из-за нагрева инструмента. За счет отвода тепла в инструмент зона в точке В освобождается от контакта последней. При прогреве патрона индуктором с частотой тока 1 кГц освобождение инструмента происходит за 5,5 секунд. При этом максимальная температура патрона достигает 220^oC, инструмента – 96^oC. Освобождение инструмента индуктором с частотой тока 50 Гц происходит за 6 секунд. При этом максимальная температура патрона достигает 275^oC, а инструмента – 125^oC. Распределение контактных давлений при освобождении инструмента в различные моменты времени приведено в табл. 3.

Таблица 3

Распределение контактных давлений (МПа) при разборке соединения

t	$z, \text{ см}$						
	6,55	6,9	7,45	8,65	9,55	10,25	10,45
0	319	98	99	100	100	98	118
1	200/195	30,5/57	35/59	35/60	315/57	22,5/62	103/139
2	26,5/92	11,5/29	17,5/33	18/33	13,5/28	3/34	75,5/113
3	28/19	12/10	18/17	18/16	13/14	3/20	96/90
4	0	0/4	5/4	5/4	19/2	0/7	36/71

Данные в числителе соответствуют частоте тока 1 кГц, в знаменателе – 50 Гц. Видно, что натяг 10 микрон обеспечивает контактное давление около 100 МПа, что достаточно для передачи крутящего момента, который может вызвать, например, поломку сверла.

При уменьшении мощности индуктора на 50 % разборка соединения будет происходить при более высокой температуре с разогревом инструмента существенно выше 100^oC, а при близких коэффициентах расширения материалов патрона и инструмента она становится вообще невозможной.

В заключение отметим, что компьютерное моделирование термомеханических процессов в рамках термомоноконтрактной задачи позволяет для конкретной конструкции подобрать мощность источников тепла от индуктора, время разогрева и другие параметры технологического процесса сборки и разборки соединения.

Литература

1. Задачи контактного взаимодействия элементов конструкций / А.Н. Подгорный, П.П. Гонтаровский, Б.Н. Киркач, Ю.И. Матюхин, Г.Л. Хавин. – Киев: Наук. думка, 1989.– 232 с.
2. Гармаш Н.Г. Моделирование термонапряженной посадки турбинного диска на вал //Новые решения в современных технологиях. Вестник Харьк. политехн. у-та.– Харьков, ХГПУ.–1999. – Вып. 47. С. 13-15.
3. Шлыков Ю.П. Контактное термическое сопротивление / Ю.П. Шлыков, Б.А. Ганин, С.Н. Царевский.–М.: Энергия, 1977. – 328 с.

УДК 669/141

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

**Гладкий И.П., канд. техн. наук, Мощенко В.И., канд. техн. наук,
Глушкова Д.Б., канд. техн. наук, Тарабанова В.П., канд. техн. наук**
(г. Харьков, Украина)

It is established the influence of the nature of the binder of moulding sand on the its physic-mechanical properties. It is proposed and based the optimal composition of the moulding sand.

Как показал анализ, проведенный в литейных цехах заводов, при получении чугунных отливок больших размеров основным видом брака являются газовые раковины. Такой вид брака составляет 50 %, а иногда и более. Как известно, при прогреве формы жидким металлом образующиеся пары и газы имеют два выхода в атмосферу: 1) через формовочную смесь в направлении от отливки; 2) через жидкий металл. Второй путь нежелателен, так как вызывает образование газовых раковин в отливках. При выборе состава формовочной смеси необходимо учитывать тепловое взаимодействие металла и формы, ее газовый режим, химические явления, происходящие на поверхности раздела металл-форма [1]. К основным свойствам формовочных смесей, которые всегда регламентируются и контролируются, относятся влажность, газопроницаемость, прочность по-сырому и прочность по-сухому стержней и форм, высушиваемых перед заливкой.

Задачей настоящей работы было установление состава формовочных смесей и, в первую очередь, природы связующих на указанные выше свойства смеси.

Прочность песчано-глинистой смеси во влажном состоянии зависит от зернового состава песка, влажности, содержание глины, ее связующей способности, а также от плотности. Прочность формовочной смеси создает оболочка, в состав которой, кроме глины и воды, входят противопригарные добавки.

Механические свойства формовочной смеси обусловлены сцеплением частиц глинистых минералов в местах контакта через тонкие остаточные прослойки воды, которые частично ослабляют силы молекулярного взаимодействия, но придают системе пластичность.

Чтобы обеспечить необходимые свойства формовочных смесей, следует грамотно подойти к выбору связующих материалов, предназначенных для соединения зерен смеси. Силы, действующие по границе раздела твердой и жидкой фаз, имеют ту же природу, что и силы, действующие между частицами внутри каждой отдельной фазы [2]. Для разрыва разнородных фаз по границе раздела необходимо затратить определенную работу. Работа, затраченная на преодоление сил сцепления между частицами, определяется силой адгезии.

Величина адгезии зависит от строения молекул. Высокая адгезионная способность двух фаз будет в том случае, когда в состав молекул входят родственные группы. Так, высокой адгезией к воде – основному растворителю связующих – обладают групповые COOH и OH , а минимальной – углеводородные цепочки с группами CH_2 . Исходя из этих соображений, можно предположить, что одновременное применение растворимых и нерастворимых в воде связующих не может обеспечить требуемое сочетание свойств.

Нами были исследованы шесть вариантов смесей, в состав которых входил песок марки 2К02Б и три разновидности связующих: органический лингосульфат и неорганическая алюмохромофосфатная связка (АХФС), которые растворимы в воде, и нерастворимый в воде крепитель КО.

Таблица 1

Составы смесей для форм и стержней и их физико-механические свойства

№ п/п	Обозначение смесей	Составы смесей						
		Песок кварцевый	Бентонит	Лингосульфат (плотность 1270 кг /м ³)	Крепитель КО	Алюмохромофосфатная связка (АХФС), плотность 1300 кг /м ³	Окись железа (черная)	Вода
1	Заводская смесь С17	92,0	2,0	4,0	2,0	—	—	—
2	Смесь №1	93,0	2,0	5,0	—	—	—	—
3	Смесь №2	93,0	2,0	—	5,0	—	—	—
4	Смесь №3	92,0	2,0	3,0	3,0	—	—	—
5	Смесь №4	92,0	—	4,0	4,0	—	—	—
6	Смесь №5	93,0	—	—	—	4,0	1,0	2,0

Одним из этих вариантов была заводская формовочная смесь, в состав которой входит одновременно растворимый в воде лингосульфат и нерастворимый в воде крепитель КО в соотношении 2:1 (таблица 1). Была исследована подобного состава формовочная смесь, в которой соотношение лингосульфата и крепителя КО составляет 1:1 (смесь №3), и к этой группе некоторым образом примыкает смесь №4, в которой отсутствует бентонит, представляющий собой клейкую белую глину, поэтому количество лингосульфата и крепителя КО немного больше и соотношение между ними составляет 1:1.

Смесь №1 вмещает только растворимую в воде связку – лингосульфат, а смесь №2 вмещает только нерастворимую в воде связку – крепитель КО. В смесь №5 была введена алюмохромфосфатная связка, растворимая в воде. Из каждой смеси изготавливались 5 образцов, и результаты усреднялись.

В таблице 2 приведены такие основные свойства формовочных смесей, как влажность, сырая прочность, прочность образцов на разрыв, высушенных при температуре 180°C, и газопроницаемость.

Таблица 2

Физико-механические свойства формовочных смесей

№ п/п	Обозначение смесей	Физико-механические свойства смесей			
		Влажность	Сырая прочность	Прочность образцов на разрыв, высушенных при температуре 180°C, МПа	Газопроницаемость
1	Заводская смесь С17	3,0	0,8	80	120
2	Смесь №1	3,5	0,9	120	125
3	Смесь №2	3,2	1,0	100	110
4	Смесь №3	2,9	0,75	78	120
5	Смесь №4	4,0	1,0	105	120
6	Смесь №5	4,3	0,9	150	170

В результате проведенной работы установлено, что прочность характеристики образцов, изготовленных из связующих, растворимых в воде, после сушки возрастают. Так в смеси №1 (на основе лингосульфата) – прочность составляет 120 МПа, а использование другой растворимой связки на основе неорганического водного фосфатного связующего (АХФС) не только значительно повышает прочность до 150 МПа, но и способствует увеличению газопроницаемости до 170ед. (смесь №5).

Формовочные смеси, в состав которых одновременно входят растворимые и нерастворимые связующие (заводская смесь, смесь №3, смесь №4), дают близкие, но низкие значения свойств.

Прочность и газопроницаемость образцов, содержащих только крепитель КО (смесь №2) или только лингосульфат (смесь №1), которая уже упоминалась, находятся приблизительно в одинаковых пределах (прочность 100÷120 МПа, а газопроницаемость 110÷125 МПа). Однако, осыпаемость после сушки данных смесей значительно больше по сравнению с другими вариантами смесей.

Для того, чтобы судить о состоянии формовочной смеси в широком диапазоне температур от начала кристаллизации металла и до практически его окончательного остывания, исследовалась потеря веса двух вариантов смесей: заводской, имеющей наивысшие физико-механические свойства,

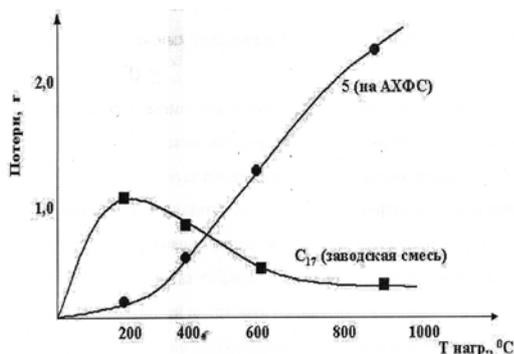


Рис.1 Зависимость потери в весе формовочной смеси от температуры нагрева (заводская смесь С₁₇, смесь №5 на АХФС).

и смеси №5, имеющей наивысшие свойства. Данные испытаний представлены в таблице 3, а по полученным результатам построены графики, отображающие кинетику газовыделения исследуемых смесей. (рис. 1). Данные по потере веса при обжиге можно идентифицировать как газотворность, которая зависит от природы связующего. Газотворность – это способность смеси выделять газы при ее нагреве, что определяется объемом выделяемого газа в единицу времени.

Как показали результаты исследования, для заводской смеси, содержащей в качестве связующего лингосульфат и крепитель, пик выделения газов соответствует 200°C. Смесь №5 на основе АХФС максимума в потере веса достигает при температуре 900°C, то есть в период кристаллизации.

При выборе связующих необходимо принимать во внимание не только общее количество выделяющихся газов, но и количество газов, которое выделяется в первый момент заливки. После образования достаточно прочной корки затвердевшего металла выделяющиеся газы не вызывают образование газовых раковин.

Выводы

На основе проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- 1) Одновременное введение в формовочную смесь водорастворимых и водонерастворимых связующих снижает прочность высушенной смеси с 120МПа до 78-80 МПа.
- 2) Замена органического связующего на неорганическое фосфатное способствует повышению качества формовочной смеси: сухая прочность увеличивается с 120МПа до 150МПа, а газопроницаемость – с

125 МПа до 170 МПа. Что в свою очередь обеспечивает удаление из формы значительного количества газовой составляющей и, естественно, уменьшает брак литых деталей по газовым раковинам.

- 3) Увеличение потери в весе формовочной смеси при температуре 900°C с 0 до 2,1 г на 20 г смеси повышает давление формы в начальной стадии кристаллизации металла, что приводит к удалению из металла газовых пузырьков и тем самым способствует повышению качества отливок.

Литература

1. Б.К. Святкин (1999). Прессование литейных форм под высоким давлением. – Москва: Mashgid. – 156 с.
2. Ю.А. Степанов, В.И. Семенов (1992). Формовочные материалы. – Москва: Машиностроение. – 215 с.

УДК 669.131.7:621.78

ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ СКОРОСТНОМ НАГРЕВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Бондаренко С.И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The investigation of structural changes in quenched high-strength cast iron during electrical heating at speed of ~ 50°C/sec has been carried out. Processes of martensite tempering at subcritical temperatures, peculiarities of austenite formation have been studied. $\alpha \rightarrow \gamma$ -transformation range has been determined. Study has showed that in spite of respectively high speed of heating substantial coagulation of carbides precipitation in quench cracks and crystal lattice defects had time to occur.

Изучение превращений, происходящих при нагреве чугуна, важно для теории и практики термической обработки чугуновых изделий, а также с точки зрения поведения деталей, которые в процессе эксплуатации могут испытывать нагревы до высоких температур.

В работе исследовались процессы, происходящие при скоростном нагреве предварительно закаленного магниевого чугуна следующего химсостава: 3,37 % С, 3,24 % Si; 0,57 % Mn; 0,08 % P; 0,003 % S; 0,048 Mg. Для получения исходной закаленной структуры чугун нагревался до 1100°C, выдерживался в течение 30 мин. и охлаждался в соленой воде. При этом получалась крупнозернистая структура, облегчающая изучение процессов при последующем нагреве и состоящая из шаровидного графита, крупнопластинчатого мартенсита и остаточного аустенита (рис. 1а).

Образцы клиновидной формы нагревались непосредственным пропусканием тока в стыковой сварочной машине со средней скоростью 50°C/с. [1] Выбранная форма образцов позволяла получить при нагреве градиент температур от субкритических на широком конце до температур, близких к температуре плавления, на узком. После нагрева до соответствующих температур (без выдержки) образцы закаливались в воде или охлаждались на воздухе. По длине образца приготавливался микрошлиф, на котором была представлена гамма структур, соответствующих нагреву до разных температур. Производилось исследование микроструктуры на микроскопе МИМ-8 при увеличениях до 1000 и измерялась по длине образца твердость по Виккерсу с нагрузкой 500 Н.

Металлографическое исследование закаленных в воде образцов показало, что при нагреве до субкритических температур происходит выделение карбидов из мартенсита и их коагуляция, при этом существенно повышается травимость игл мартенсита. Выделение и укрупнение карбидов наиболее интенсивно происходит по границам мартенситных пластин.

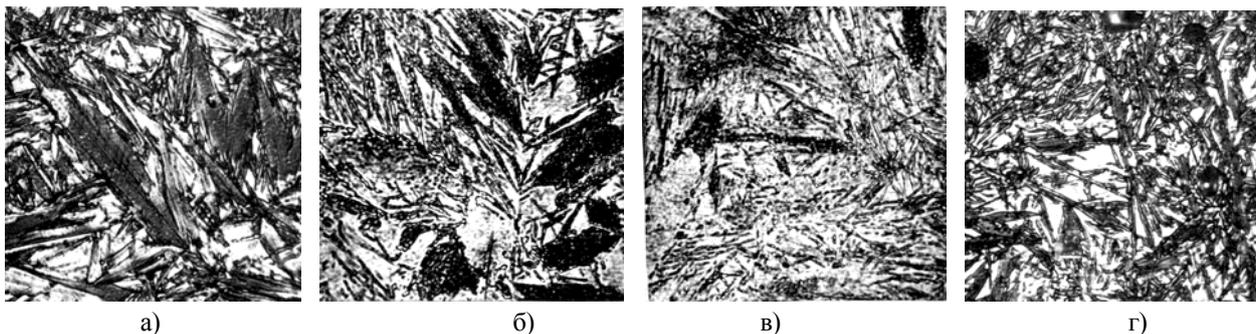


Рис. 1. Структура чугуна после нагрева со скоростью 50°C/с и закалки; х 1000:
а) исходное состояние; б) 810°C; в) 820°C; г) 980°C.

Наряду с отпуском мартенсита происходит выделение графита в микротрещинах и дефектных местах решетки, возникших в результате закалки. Такие мелкие включения графита имеют округлую или вытянутую форму и чаще всего возникают на стыках нескольких пластин мартенсита, на границах мартенситных пластин, границах бывших аустенитных зерен, где они нередко образуют цепочки или сплошные прослойки. Цементитные частицы вокруг этих графитных включений растворяются, углерод диффундирует к графиту и вокруг него образуются участки структурно свободного феррита. С повышением температуры происходит рост графитных включений и увеличение размеров ферритных участков.

Распад остаточного аустенита происходит лишь при температурах, близких к температуре начала $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения, что свидетельствует о его высокой устойчивости, очевидно, обусловленной повышенным содержанием кремния. В результате протекания указанных процессов твердость чугуна снижается с 5400 МПа в исходном состоя-

нии до 3280 МПа (рис. 2, кривая 1). Образование аустенита начинается при температуре 790-800°C. Первые участки образовавшегося при нагреве аустенита в результате закалки превращаются в светлотравящийся мартенсит, который четко виден на фоне темных игл бывшего мартенсита (теперь сорбита отпуска). На рис. 1б эти участки отмечены стрелками. Новые участки аустенита, как правило, имеют округлую форму и растут в пределах бывшей мартенситной пластины, повторяя ее очертания.

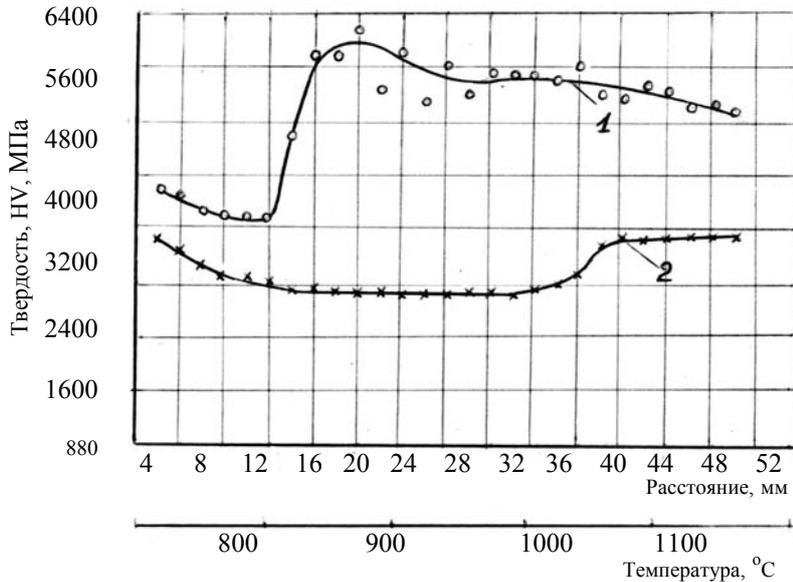


Рис. 2. Распределение твердости по Виккерсу под длине клиновидного образца после электронного нагрева со скоростью 50°C/с и охлаждения в воде (1) и на воздухе (2).

Ориентировка структуры по бывшему крупноигльчатому мартенситу сохраняется длительное время за счет ферритных прослоек и цепочек и прослоек цементита и графита.

Дальнейшее повышение температуры (930-950°C) приводит к более полному растворению карбидов и превращению ферритных прослоек в аустенит. Ориентировка по бывшим мартенситным пластинам устраняется и структура матрицы после закалки состоит из темнотравящихся относительно крупных игл нового мартенсита и значительного количества остаточного аустенита (рис. 1 г). Дальнейшее укрупнение мартенситных пластин свидетельствует о росте зерна аустенита с повышением температуры, который уже не сдерживается карбидными частицами, а увеличение количества остаточного аустенита обусловлено повышением его устойчивости за счет увеличения концентрации в нем углерода. Повышение количества остаточного аустенита понижает твердость (рис. 2).

Исследование образцов, охлаждавшихся на воздухе, показало, что после нагрева до субкритических температур замедление охлаждения по сравнению с закалкой приводит к более интенсивной коагуляции карбидных частиц и графитизации цементита (рис. 3 а). Охлаждение на воздухе с температур полной аустенизации способствует получению структуры тростита и феррита, выделившегося вокруг мелких графитных включений и около шаровидного графита (рис. 3 б). Коагуляция цементита и выделение феррита приводят к снижению твердости чугуна (рис. 2, кривая 2). Начиная с температуры ~ 980°C, графитизация подавляется и структура матрицы состоит из тростита и цементита, выделившегося в виде сетки по границам аустенитных зерен (рис. 3 в). С повышением температуры цементитная сетка утолщается, что связано с большей степенью насыщения аустенита углеродом при нагреве. Подавление графитизации при нормализации с более высокой температуры, очевидно, связано с более полным растворением включений мелкого графита при нагреве и снятии дефектов в аустените, что устраняет их инициирующее влияние на эти процессы, а также с большей скоростью охлаждения

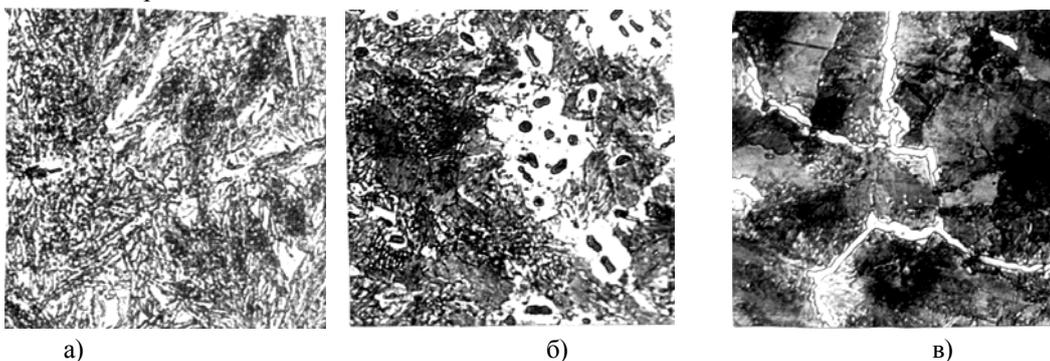


Рис. 3. Структура чугуна после электронного нагрева со скоростью 50 град/с и охлаждения на воздухе; х 1000:

а) 780°C; б) 930°C; в) 1070°C

после нагрева до более высоких температур. Появление цементитной сетки приводит к повышению твердости чугуна.

На основании выполненной работы можно сделать следующие выводы.

1. Нагрев закаленного чугуна со скоростью 50°C/с до субкритических температур приводит к распаду мартенсита и заметной коагуляции карбидных частиц, причем наиболее интенсивно эти процессы происходят по границам мартенситных пластин.

2. Несмотря на высокую скорость нагрева, в закалочных микротрещинах успевает выделиться графит при нагреве до субкритических температур.

3. Образование аустенита в закаленном чугуне в условиях скоростного нагрева начинается при температуре 790-800°C и в основном заканчивается при 820-830°C. Быстрое развитие $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения объясняется повышенной плотностью дефектов кристаллического строения в закаленной структуре чугуна и развитой межфазовой поверхностью раздела феррит-цементит, образующейся при отпуске мартенсита и аустенита.

4. Превращение последних участков феррита в аустенит задерживается до более высоких температур, что связано с обогащением их кремнием в процессе $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения. Растворение цементита и графита также существенно запаздывает по отношению к перестройке кристаллической решетки.

Литература

1. Бондаренко С.И., Петриченко А.М., Дьяченко С.С. Влияние исходного состояния и условий нагрева на кинетику образования аустенита в ферритном чугуне с шаровидным графитом. – Изв. Вузов. Черн. Metallургия, 1982. – № 6. – С. 101-105.
2. Петриченко А.М., Бондаренко С.И., Дьяченко В.С. Электронно-микроскопическое исследование образования аустенита в ферритном магниевом чугуне. – Лит. пр-во, 1972. – № 6. – С. 16-17.

УДК.621.923

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ

Дудин А.Т.

(г. Евпатория, Украина)

In activity the technological capabilities of progressive methods of welding are justified: welding of tubes by detonating, welding by hydraulic shocks, welding frictional - contact, induction - friction contact.

1. Сварка труб взрывом. В настоящее время сварка трубы в трубе из разного материала представляет определенные трудности. Например, для сварки в стальной трубе алюминиевой, разработана технология холодной сварки давлением, когда в трубы заливается вода и они погружаются в жидкий азот. Такой способ сварки связан с большими экономическими затратами.

Традиционная сварка взрывом позволяет приварить тонкий лист металла к более толстому. На внешнюю поверхность тонкого листа наносится определенное количество взрывчатого вещества, которое при зажигании образует детонационную волну. При этом тонкая пластина на некоторой длине неоднократно перегибается, происходит соударение тонкой пластины с более толстой. Это приводит к тесному сближению свариваемых частей и образованию у контактирующих металлов пластической деформации и атомного сцепления. При этом детонационная волна образует направленную силу, очищающую поверхность соединяемых металлов от загрязнения, выбрасывая их наружу.

Исходя из этого, сварка взрывом трубы в трубе очень проблематична, т.к. варить надо очень тонкую трубу к более толстой и при этом необходимо, чтобы детонационная волна распространялась по свариваемым трубам кольцами. Для длинных труб эти условия выполнить невозможно.

Поэтому предлагается новый способ сварки труб взрывом. Собранные трубы заполняются ацетиленом. На концы труб ставятся заглушки, рассчитанные на определенную силу, при приложении которой они освободят концы собранных труб. Возможен вариант, когда на определенную силу рассчитывается одна заглушка, а вторая стоит "мертво".

При нагревании ацетилен является неустойчивым соединением. При температуре 300 °С он начинает первично распадаться:



где Q_1 - энергия, равная 8694 кДж/кг; 1 Дж = 0,239 кал.

При температуре около 800 °С происходит дальнейшее разложение ацетилена в метан и графит (сажу), и при температуре 1200 °С образуется водород и углерод:



где Q_2 - энергия теплового эффекта реакции.

При разложении одного моля метана на углерод и водород (т.е. 12,001 + 4·1,008 = 16,033 Г), $CH_4 = C + 2H_2$, получим 21,7 Ккал.

Отсюда определяем энергию теплового эффекта Q_2 , которая будет равна 5663 кДж/кг.

Находим энергию теплового эффекта при разложении ацетилена:

$$Q_1 + Q_2 = 8694 + 5663 = 14357 \text{ кДж/кг.}$$

Для увеличения количества ацетилена, свариваемые трубы частично заполняются пористой массой и в тру-

бы заливается ацетон. Один объем ацетона растворяет при нормальной температуре и давлении 23 объема ацетилена. В целях безопасности при заправке, давление в заправленной трубе не должно превышать 1,9 МПа (19 кгс/см²).

Из уравнения Клапейрона – Менделеева:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

определяем давление:

$$P = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot V},$$

где P – давление газа, V – объем газа, m – вес газа (в граммах), M – молекулярный вес газа, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

Максимальное давление при взрывном распаде ацетилена в трубах при сварке, учитывая, что в составе продуктов взрыва наряду с газами имеются не газообразные продукты, рассчитывается по формуле

$$P_{max} = \frac{n \cdot R \cdot T \cdot \rho}{1 - (V_1 - V_2) \cdot \rho},$$

где n – число молей газообразных продуктов, образующихся при разложении 1 кг исходных продуктов, R – универсальная газовая постоянная, Дж(моль К); T – абсолютная температура разложения, К; ρ – плотность газообразных продуктов разложения, кг/м; V_1, V_2 – удельный объем газообразных и не газообразных продуктов, м/кг.

Нагрев и разложение ацетилена в трубе можно осуществить с помощью индукционных катушек токами высокой частоты, и (или) вводом в трубу через “мертвую” заглушку электродов, или нагревательной спирали. При взрыве из сваренных труб в пространство выбрасывается водород, который образует с воздухом взрывчатую смесь. Процесс сварки должен вестись в специально оборудованном месте без присутствия людей.

Сварку трубы в трубе можно осуществить взрывом не только методом разложения газа, но и методом его сжигания. Зарядка труб для сварки взрывной смесью должна вестись с особой осторожностью.

Преимущества метода: трубы не надо нагревать, а достаточно одной искры, образованной на электродах, чтобы получить взрыв и выполнить сварку; выше КПД.

Выводы: Сварку взрывом трубы в трубе из разных материалов можно осуществить двумя методами: разлагая газ и, образуя взрыв, сжигая его. Метод сварки сжиганием газа в десятки раз выгоднее: не надо прогревать газовую смесь до высоких температур, при сгорании газовой смеси выделяется на много больше тепловой энергии. Кроме того, после взрыва не остается взрывчатых веществ. В любом случае процесс сварки должен вестись в местах специально оборудованных, без присутствия людей.

2. Сварка гидравлическими ударами. Современные способы сварки имеют, казалось бы, неограниченные возможности, но развитие машиностроения ставит такие задачи, что известными видами сварки они выполняются с большими трудом или же вообще не выполняются: их обходят, заменяя материал или технологию изготовления. В настоящее время, при выполнении некоторых видов сварки, получают большую себестоимость изделий, поэтому прежде чем раскрыть новые виды сварки, раскроем проблему и проанализируем существующие.

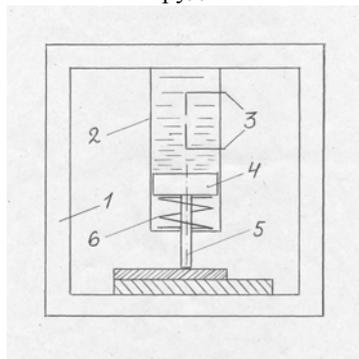


Рис1. Конструкция сварочного устройства: 1 - рама, 2- цилиндр, 3- электроды с выводами, 4- поршень, 5- ударный шток, 6- возвратная пружина.

Проблема: Производство стальных труб с внутренней алюминиевой трубой, стальных труб с внутренней медной трубой, сварка листов меди, сварка меди с алюминием, сварка меди со сталью – примеров можно приводить много и на других сплавах, но в каждом конкретном случае, имея новый вид сварки и новые возможности, технологи обоснуют его применение.

В настоящее время в стальной трубе алюминиевую трубу варят холодным способом с помощью воды. Трубы проходят тщательную подготовку к сварке: собираются, в стальную трубу вставляется алюминиевая. Собранные трубы заполняются водой и ставятся заглушки. Далее труба погружается в жидкий азот, где происходит моментальное замораживание воды по всей длине и за счет расширения воды происходит холодная сварка алюминиевой трубы со стальной.

Недостаток этого способа сварки заключается в том, что трубу надо погружать в жидкий азот, чтобы обеспечить равномерное застывание воды по всей длине. Работа с жидким азотом требует специальных условий техники безопасности. Получение жидкого азота и его содержание требует больших экономических затрат.

Если рассмотреть сварку медных листов с медью, то контактной сваркой их не сварить; ультразвуком можно сварить, но только толщиной не более 1,1 мм; диффузионная сварка в вакууме позволяет вести такую сварку, но для этого необходим нагрев до 800 °С, создать давление 5,49 МПа, выдержать не менее 8 мин; сварка взрывом осуществляет сварку тонкого листа с более толстым, но при этом выполняться может только в специальных местах высококвалифицированными специалистами, после тщательных расчетов по каждому конкретному случаю. Для диффузионной сварки в вакууме алюминия с медью требуется температура 450 °С, давление

2,94 МПа, время сварки 8 мин; для меди со сталью – требуется температура 850 °С, давление 4,9 МПа, время сварки 10 мин. Сварка трубы в трубе в вакууме с созданием таких температур и давления очень проблематична. Поэтому предлагается новый вид сварки.

Известно открытие, что если в воде между двумя электродами произвести электрический разряд, то получается гидравлический удар. Явление гидравлического удара и используем в новых видах сварки.

В свариваемые трубы поместим электроды. Трубы заполним водой, поставим заглушки и пустим электрический ток, что произведет гидравлический удар, который и соединит трубы. Подавать разряды можно многократно и с большой частотой, что заменит сварку ультразвуком. Для усиления гидравлического удара в свариваемые трубы помещают несколько пар электродов, которые могут включаться по очереди или одновременно. С управлением включения электродов через ЭВМ по очереди, можно достичь гидравлических ударов очень большой частоты, равной частоте ультразвука. Кроме того, включая электроды последовательно, можно достичь эффекта взрывной волны вдоль трубы, т.е. в данном случае сварка гидравлическими ударами заменяет ультразвуковую сварку и сварку взрывом по направленности и последовательности распространения гидравлического удара. Для очень мощного гидравлического удара включаются одновременно все пары электродов. С помощью гидравлических ударов можно варить листовый материал нахлесточными соединениями, заменяя многие виды сварок. Для этого предлагается следующая конструкция сварочного устройства, рис. 1.

Сварка гидравлическими ударами обеспечит сварку различных материалов, которые толще в несколько раз, чем при сварке ультразвуком. Кроме того, сварку гидравлическими ударами можно совместить с контактной сваркой и получить высокоэффективный вид сварки, где высокочастотные мощные гидравлические удары совмещаются с воздействием электрического тока. Если контактной сваркой медь не варится, а при ультразвуковой сварке варятся листы, только толщиной до 1,1 мм, то при сварке гидравлическими ударами и воздействием электрического тока, толщина свариваемых листов увеличится во много раз.

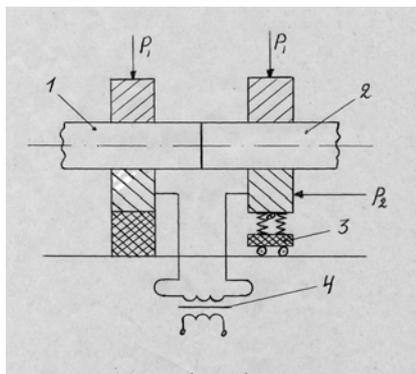


Рис.2. Схема виброфрикционно-контактной сварки: 1- неподвижная деталь, 2- подвижная деталь, 3- вибродвижущий блок с возможностью фиксации, 4- трансформатор; P_1 - усилие зажатия деталей, P_2 - усилие осадки.

осуществляются на основе нагрева и пластической деформации заготовок в месте соединения. Нагрев осуществляется прохождением электрического тока через контакт. Общее у сварки трением и контактной сварки то, что осуществляется нагрев сопряженных поверхностей, прикладывается давление и происходит пластическая деформация.

Контактная сварка отличается высокой производительностью, поддается механизации и автоматизации, экономит основные и вспомогательные материалы. Но если ее сравнить со сваркой трением, то при сварке трением углеродистой стали обыкновенного качества, электрическая мощность составляет 15-20 Вт/мм², а при электрической контактной сварке 120-150 Вт/мм². Получается показатель в 10 раз хуже. Поэтому контактная сварка экономически эффективна в крупносерийном производстве.

Поставим цель создать новые виды сварки, которые наиболее экономически эффективны в мелко- и средне-серийном производстве, которые возьмут лучшее из приведенных видов сварки, а недостатки ликвидируют. С этой целью соединим сварку трением и контактную сварку. Получим впечатляющие результаты: электрическая мощность на сварку трением значительно уменьшается, а электрическая мощность на контактную сварку может сократиться в 10 раз. В результате объединения сварки трением и контактной сварки получим новый вид сварки, который назовем фрикционно-контактная.

При колебательных перемещениях одной детали относительно другой и одновременным использованием электрического тока для нагрева трущихся поверхностей, приходим к новому виду сварки, который назовем

Выводы. Сварка гидравлическими ударами, плюс контактная сварка (назовем ее гидроударноконтактная сварка), в большинстве случаев заменит сварку ультразвуком, контактную сварку, диффузионную сварку, сварку трением, холодную сварку, сварку давлением, сварку сплавлением, дугопрессовую, прокаткой, сварку взрывом. Эта сварка проста и безопасна в эксплуатации.

3. Сварка фрикционно-контактная, виброфрикционно-контактная, индукционно-фрикционно-контактная. В настоящее время хорошо известен вид сварки трением, при котором свариваются две детали, одна из которых закреплена неподвижно, а вторая приводится во вращение с приложением осевого усилия P . При этом возникают силы трения, выделяющие тепло, достаточное для осуществления сварки давлением. При достижении определенной температуры, вращение прекращается, а осевое усилие остается.

Сварка углеродистых сталей производится при температуре 500-1350 °С, при этом частота вращения от 1000 до 3000 об/мин, давление 39,2-49 МПа, осадка от 3-12 мм, время сварки от 3 до 20 секунд.

Сварка вибротрением заключается в том, что одна деталь получает колебательные перемещения относительно другой. Недостатки сварки трением заключаются в том, что нужна большая скорость вращения и колебательных перемещений, получается большая осадка и необходимо довольно продолжительное время сварки.

Основные виды контактной сварки: стыковая сварка, точечная сварка, рельефная сварка, шовная сварка. Все виды контактной сварки осу-

вибрационно-фрикционно-контактная. Для понимания сущности данного вида сварки, рассмотрим схему, приведенную на рис. 2.

Для ускорения процесса нагрева, уменьшения осадки, т.е. экономии материалов, лучшего прогрева трущихся поверхностей, можно предложить еще один вид сварки, где совмещаются индукционно-прессовая сварка со сваркой трением. Сварка трением и вибротрением осуществляется в индукторе в виде кольца. Индуктирование осуществляется переменным током частотой до 500000 Гц. Это позволяет получить более высокую концентрацию энергии, чем при контактной и дуговой сварке, а за счет трения поверхностей – сваривать детали большого диаметра более рационально. Для сварки стержней большого диаметра следует дополнительно подключить контактную сварку.

Таким образом, на основе анализа отдельных видов сварки и применяя метод синтеза, приходим к совершенно новым видам сварки, у которых технико-экономические показатели при мелко- и среднесерийном производстве значительно выше, чем в отдельности по каждому виду. Кроме того, данные виды сварки позволяют экономить материал, уменьшать частоту оборотов и колебаний, время сварки, ток нагрева и при этом достигать значительно лучших механических показателей сварочных соединений.

УДК 621.7

ПОЛОЖЕННЯ КРИТИЧНОЇ ТОЧКИ A_{C1} ПІСЛЯ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ СТАЛІ 25

Браташевський О.Ю., канд. техн. наук, Горбачова Л.В., Полякова А.Г., Польотов В.А.

(м. Харків, Україна)

Dependence of critical point reduction value A_{C1} of type 25 steel on the degree of preliminary cold plastic deformation. To find a correlation between reduction value A_{C1} and the parameters of dislocations structure of cold-deformed steel.

Останнім часом в металургії і машинобудуванні широко застосовують деформування сталі в холодному стані, як найбільш ефективний вид обробки металу тиском. Часто після холодної пластичної деформації необхідно виконати термічну обробку. Для цього, в першу чергу, потрібно знати вплив холодної пластичної деформації на температуру початку $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення в сталі. Тому вивченню цього питання присвячується все більше досліджень. Вони показують, що після холодної пластичної деформації (прокат) критична точка A_{C1} сталі фіксується при нижчій температурі, ніж у цієї ж сталі, але з рівноважною структурою (після відпалювання). Таке зниження критичної точки пояснюється збільшенням внутрішньої енергії сталі в процесі пластичної деформації, що призводить до зміни умов рівноваження фаз. Останні дослідження дають більш конкретні дані про те, що зниження початку $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення зумовлено наявністю в структурі сталі дефектів, які розміщені іррегулярно (хаотично), і визначається кількістю енергії, що виділяється в процесі їх релаксації, та ж частина дислокацій, яка в процесі нагрівання утворює регулярні структури полігонального типу (сітки, стінки), практично не впливає на положення критичної точки A_{C1} . Однак, в літературі відсутні дані про залежність зниження температури початку $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення від ступеня деформації холоднокатаної сталі. Тому мета даної роботи – вивчення впливу ступеня деформації і числа проходів при холодному прокатуванні на положення критичної точки A_{C1} .

Матеріал дослідження – сталь 25, яку відпалювали при температурі 1200°C (витримка 3 години). З відпаленої сталі вирізали зразки, які прокатували в холодному стані зі ступенями деформації (ξ): 10% (1 прохід); 20% (1 прохід); 30% (5, 3, 2 і 1 прохід); 40% (4 проходи); 50% (10, 5, 3, 2, і 1 прохід); 60% (6 проходів); 70% (15, 5, 3 і 2 проходи) і 80% (10 проходів). При досягненні певного ступеня деформації обтискування за кожний прохід було однаковим. Положення точки A_{C1} визначили за допомогою диференціального термічного аналізу при протіканні $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення в квазіізотермічних умовах. Ці умови реалізовували таким чином. Серію зразків з однаковим ступенем нерівноваження початкового стану піддавали послідовному нагріванню. В першому зразку A_{C1} фіксували при безперервному нагріванні. Кожний наступний зразок нагрівали до температури, на 10°C нижчій за попередній зразок, з заданою швидкістю, а далі зі швидкістю 10-30°C/хв до фіксування фазового перетворення. Отримані при цьому значення A_{C1} відповідали (на підставі проведених порівняльних експериментів) температурі початку утворення аустеніту в ізотермічних умовах. Враховуючи вплив швидкості нагрівання на змінювання положення A_{C1} відпаленої і холодноконтактної сталі, задану швидкість нагрівання серії зразків вибирали 500°C/хв. Точність фіксування температури A_{C1} при довірчому інтервалі 0,95 була в межах 0,5°C. У зразків, що віддавали відпалюванню і холодному прокатуванню, вимірювали твердість та вивчали тонку структуру сталі за методом трансмісійної електронної мікроскопії на мікроскопі “JEM-200A”.

Високу точність (0,5°C) визначення температури початку $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення досягали за допомогою розробленої установки для стабілізації температури при ізотермічних витримках, яка наведена на рисунку.

Ця установка має обігрівач 1 електропечі 2, закритий кришкою 3 з отвором 4. Безпосередньо на внутрішній поверхні обігрівача 1, простір якого утворює камеру відпалювання 5, розміщено спай термопари 6. Всередині камери відпалювання 5 розміщено робочу камеру 7, яка являє собою тигель із жаротривкого матеріалу, розміщений на підставці 8 і який має всередині інертний наповнювач 9 з високою теплоємністю. Наповнювачами для робочої камери можуть служити речовини, які не розкладаються під дією температури та які мають добру рухомість і не вступають в реакцію з досліджуванним матеріалом. Прикладом такого наповнювача є відпалений тальк.

Установка працює таким чином. Досліджуваний матеріал розміщують в наповнювачі робочої камери, яка знаходиться в камері відпалювання, що закривають кришкою, причому нагрівання досліджуваного матеріалу можна здійснювати як разом з наповнювачем, так і в попередньо нагрітому до заданої температури обігрівачі. При змінюванні температури обігрівача 1 потенціометр 12, згідно з сигналом термопари 6, вмикає при досягненні заданої температури і вмикає при її зниженні живлення обігрівача 1.

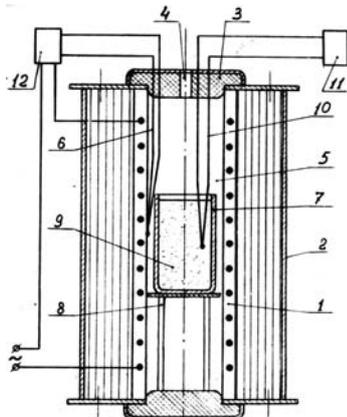


Рисунок. Загальна схема термостабілізуючої установки

Розміщення спая термопари безпосередньо на внутрішній поверхні обігрівача забезпечує достатню чутливість і швидкість дії системи. Наповнювач збільшує теплостійкість робочої камери, тобто здатність зберігати в певних межах постійну температуру всередині робочої камери при періодичних коливаннях температури середовища, яка граничить з робочою камерою, і проходженні через неї теплового потоку. Таке призводить до того, що частота та амплітуда коливань температури обігрівача стають більшими за частоту та амплітуду коливань температури робочої камери, причому чим більша різниця в тепловій інерції між обігрівачем і робочою камерою, тим вища стабільність заданої температури, яку вимірюють за допомогою термопари 10 реєструючим потенціометром 11.

Як показали дані дослідної перевірки, в результаті використання лабораторної установки з вищенаведеною конструкцією стабільність заданої температури сягає 0,2°C.

Таким чином, розміщення спая термопари ланцюга регулювань безпосередньо на внутрішній поверхні обігрівача електропечі і заповнення простору робочої камери установки інертним наповнювачем забезпечують високу стабільність заданої температури і, одночасно, спрощують виготовлення такої лабораторної установки.

Визначено, що температура A_{C1} відпаленої сталі становить 725°C. Результати визначення A_{C1} холоднокатаної сталі відносно 725°C наведено в таблиці 1, де ΔT – різниця між 725°C і A_{C1} деформованої сталі.

Таблиця 1

Твердість і величина значення A_{C1} (ΔT) холоднокатаної сталі 25 в залежності від ступеня деформації

Ступінь деформації, %	Твердість, НV	ΔT , °C
1	2	3
80	240	42
70	230	40,5
60	226	39,5
50	213	38
40	195	36
30	180	31
20	154	22
10	140	11
відпалювання	114	0

З табл. 1 видно, що із збільшенням ступеня деформації збільшується ΔT . Особливість даної залежності полягає в нерівномірності приросту ΔT із збільшенням ступеня деформації, як і у випадку залежності зміцнення сталі від ступеню деформації. Так, наприклад, із збільшенням ступеня деформації до 40-50% простежується відносно різке зниження A_{C1} ($\Delta T=36-38^\circ\text{C}$); подальше збільшення ступеня обтискування до 80% призводить до менш значного приросту ΔT (на 6-4°C). Для пояснення вказаної особливості досліджували дислокаційну структуру холоднокатаної сталі. Спостереження показали, що формування комірчастої дислокаційної структури сталі закінчується після прокатування зі ступенем деформації 30%. При цьому середній розмір дислокаційних комірок становить 1,5 мкм, а середня ширина міжкомірчастої границі – 0,7 мкм. Щільність дислокацій в границях комірок не нижча за $\approx 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Із збільшенням ступеня деформації від 30 до 50 % в структурі сталі відбувається зменшення як середнього розміру дислокаційних комірок, так і середньої ширини міжкомірчастої границі. Середній розмір комірок після прокатування зі ступенями деформації 40 та 50% зменшується відповідно до 0,8-0,75 мкм, а середня ширина міжкомірчастої границі – відповідно до 0,46 і 0,4 мкм. Щільність дислокацій в міжкомірчастих границях безперервно зростає. Починаючи зі ступеня 50% подальший розвиток деформації не призводить до змінювання середнього розміру дислокаційної комірки, який майже до обтискування 80% зберігався рівним 0,75 мкм. Разом з тим, середня ширина міжкомірчастої границі продовжує безперервно зменшуватися до 0,3 мкм після обтискування 80%. Аналогічно змінюється і щільність дислокацій в міжкомірчастих границях. Отже, нерівномірність залежності величини зниження A_{C1} холоднокатаної сталі від ступеня деформації визначається дисперсністю (середнім розміром комірок) дислокаційної комірчастої структури.

Аналіз результатів визначення температури A_{C1} холоднокатаної сталі в залежності від числа проходів, як видно з табл. 2, показав, що дрібність деформації не впливає на положення початку $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення сталі при досягнутій в даній роботі точності вимірювання температури A_{C1} .

Твердість і зниження A_{C1} холоднокатаної сталі 25 в залежності від числа проходів при різних ступенях деформації

Ступінь деформації, %	Число проходів	Твердість HV	$\Delta T, ^\circ C$
70	15	228-231	41,5
	5	230-232	40,5
	3	228-232	40,5
	2	231	40,5
50	10	209-214	38
	5	210-213	38
	3	214	38
	2	210-214	38
	1	214	38
30	5	177-182	31
	3	181-183	31
	2	177-180	31
	1	177-181	31

Висновки

1. Зниження A_{C1} холоднокатаної сталі з розвитком деформації зростає інтенсивно тільки до певного ступеня деформації, перевищення якого призводить до менш значного приросту зниження A_{C1} . При цьому дрібність деформації не впливає на положення A_{C1} .
2. Інтенсивне зниження A_{C1} відбувається тільки у тому діапазоні ступенів деформації, в якому збільшується дисперсність комірчастої дислокаційної структури, що визначається розміром комірки. Коли розмір комірок стабілізується, приріст зниження A_{C1} з розвитком деформації значно уповільнюється.

УДК 631:374.664

НОВІ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО – ДОЗУЮЧИ ПРИСТРОЇ

Долюк І.П., канд. техн. наук, Арндаренко В.М., канд. техн. наук,
Лозовський А.П., канд. техн. наук, Кучер О.В.

(м. Полтава, Україна)

The article deals with the purposes and principles of work of new loadiq out devices for elevators which make possible to exclude losses of dry materials at their transference.

З метою підвищення ефективності роботи ковшових конвеєрів (елеваторів) запропоновані нові завантажувально – дозуючі пристрої (а.с. № 1666400).

Елеватор (рис.1 і 2) включає тяговий орган 1 з ковшами 2, завантажувально-дозуючий патрубок 3, який оснащений лопатевим дозуючим пристроєм 4 з шарнірно змонтованим пересипним лотком 6, що входять в зону руху ковшів на віддаль "а". Лопатевий дозуючий пристрій зв'язаний ланцюговою передачею 5 з нижнім барабаном 8 елеватора,

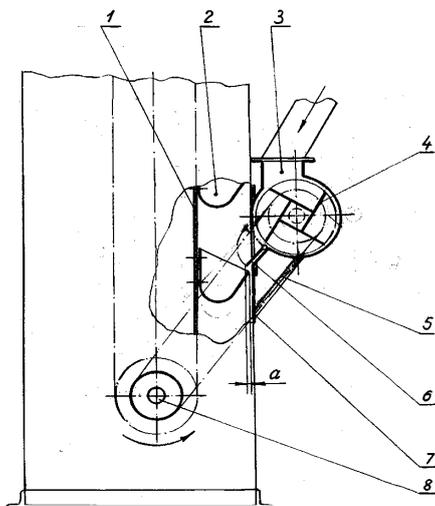


Рис.1. Завантажувально-дозуючий пристрій (варіант1)

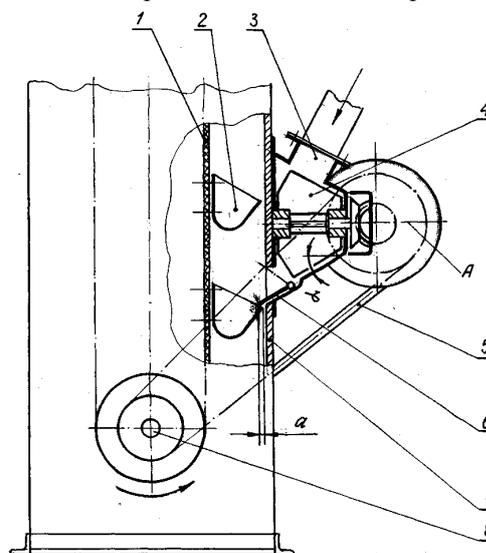


Рис.2. Завантажувально – дозуючий пристрій (варіант 2)

тому працює синхронно з рухом ковшів. В окремих випадках цей пристрій може мати індивідуальний привід, який може бути виконаний як з віссю обертання, паралельно вісі обертання нижнього барабана 8 (рис.1), так і перпендикулярно їй (рис.2).

Завантажувально-дозуючий пристрій з завантажувальним патрубком монтується на корпусі 7 елеватора.

Завантажувально-дозуючий пристрій з завантажувальним патрубком монтується на корпусі 7 елеватора.

Тяговий елемент 1 з жорстко приєднаним до нього ковшами 2 рухається (показано стрілками). Обертаючись з допомогою ланцюгової передачі 5, лопатевий дозуючий пристрій 4 рівномірно наповнює ковші матеріалом, який поступає в завантажувальний патрубок 3. Матеріал передається в ковші по шарнірно змонтованому пересипному лотку 6, вільний кінець якого входить в зону руху ковшів на деяку віддаль "а", дякуючи чому виключається просипання матеріалу мимо ковшів.

При русі ковша вгору лоток 6 відхиляється і перекриває вихідний отвір завантажувального патрубка для запобігання просипання матеріалу. При подальшому русі вгору заповнений ківш проходить зону завантаження, звільняючи кінець пересипного лотка, після чого цей лоток відхиляється вниз; проводиться завантаження наступного ковша, який щойно підійшов. Далі цикл повторюється.

Розроблено креслення завантажувально-дозуючого пристрою (варіант рис.1) для міні цеху по переробці зерна на борошно: СТОВ "Лан" = с. Судіївка, Полтавського р-ну, Полтавської обл.

Література

1. А.с. 1666400, СССР; Опубл. 30.07.91, Бюл. № 28, Автори: І.П.Долюк, С.Л.Челембій, Б.А.Головін та ін.

УДК 621:669.13-018.2

НОВИЙ КОРОЗІЙНОСТІЙКИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ХАРЧОВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Лозовський А.П., канд. техн. наук, Арендаренко В.М., канд. техн. наук
(м. Полтава, Україна)

The article deals with the problem of choosing the materials for machine components of food mechanical engineering.

Вибір матеріалів для машин і апаратів які використовуються у харчовій промисловості, досить складна і відповідальна задача. Це пов'язано, по-перше з тим, що деталі повинні бути хімічно стійкими до різних агресивних середовищ. По-друге, вони не повинні забруднювати харчові середовища продуктами свого зносу.

Корозійну стійкість чавунів до вмісту яких входять титан (а.с. №№ 730859 і 872588) досліджували в різних харчових середовищах. Дослідження корозійної (хімічної) стійкості проводили по стандартній методиці, яка описана в РТМ 26-01-21-68. При цьому використовувався вагомий метод оцінки корозійної стійкості на втрату маси зразка до і після дослідження, який виражається показником корозії в мм/рік.

В табл. 1 приведений хімічний склад, механічні властивості та глибина відбілювання запропонованого і відомого чавунів, в табл. 2 – глибинний показник корозії.

Таблиця 1.

Хімічний склад і властивості досліджуємого чавуна

Чавун	Вміст елементів, ваг. %					Властивості в литому стані				Глибина чистого відбілювання, мм
	C	Si	Mn	Al	Ti	Механічні властивості				
						Межа міцності, G _B	Межа міцності, G _{изг.}	Твердість, НВ	Стріла прогину, f _{мм}	
Відомий	3,20	2,40	0,60	0,05	0,20	32,1	63,2	241	4,6	0 – 2
	3,20	1,80	0,70	0,70	0,30	43,8	68,0	255	4,8	
	3,40	2,40	0,80	0,90	0,40	30,4	58,1	241	5,5	
Пропонуємий	3,12	2,51	0,78	0,24	1,24	33,6	61,2	255	5,8	4,0
	3,32	2,27	0,49	0,56	1,56	39,1	65,7	260	6,2	4,8
	3,58	1,98	0,94	0,72	2,12	39,5	67,7	278	6,0	6,2

Примітка: Глибину відбілювання визначили як середньоарифметичну величину між повністю відбіленим шаром і шаром до повного зникнення цементу. Зниження глибини чистого відбілювання дозволить підвищити можливість оброблювати чавунні деталі різанням в литому стані.

Подальші дослідження показали, що найбільш "важкими" середовищами для чавунів до яких входить титан являється напівпродукти спиртового виробництва, водопровідна та морська вода, 5 %-ний розчин HCl. З рис.1 і рис.2 видно, що корозія в середовищах, які не володіють окислювальними властивостями (HCl), або мають малі значення рН (менше 7), проходить більш інтенсивніше з утворенням розчинних продуктів корозії, які не захищають чавун від подальшого руйнування. Причому нелегований чавун (на рис.1 і 2 показано пунктирною лінією) руйнується швидше, ніж легований титаном. Що стосується дії других агресивних середовищ, то втрата маси чавуна незначна, особливо у спирті, водних розчин NaCl, NaOH, KOH і втрати не перевищують 0,05...0,001 г/м²год. З цього виходить, що всі досліджуванні чавуни до яких входить титан можна віднести до

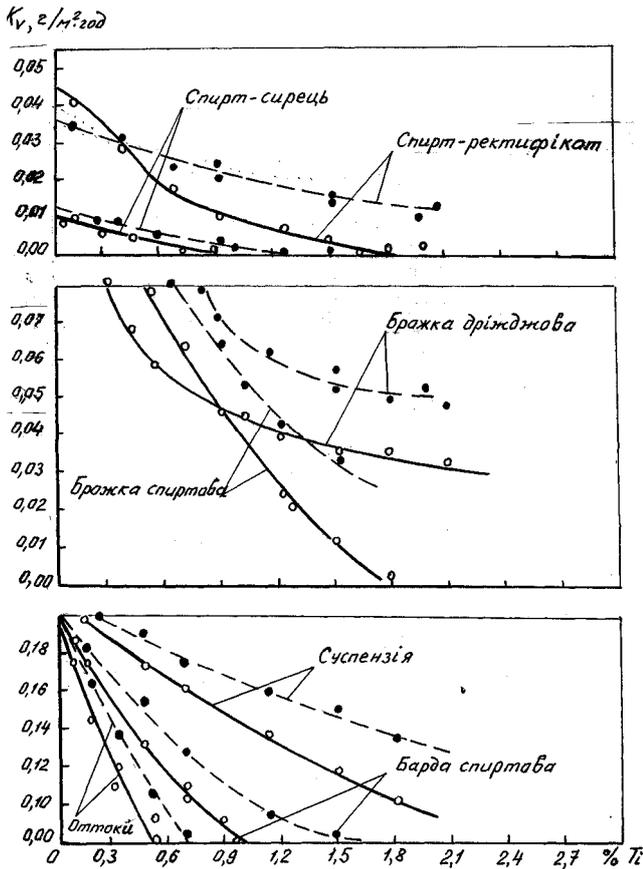


Рис.1. Вплив титана на корозійну стійкість чавуну у агресивних середовищах спиртового виробництва.

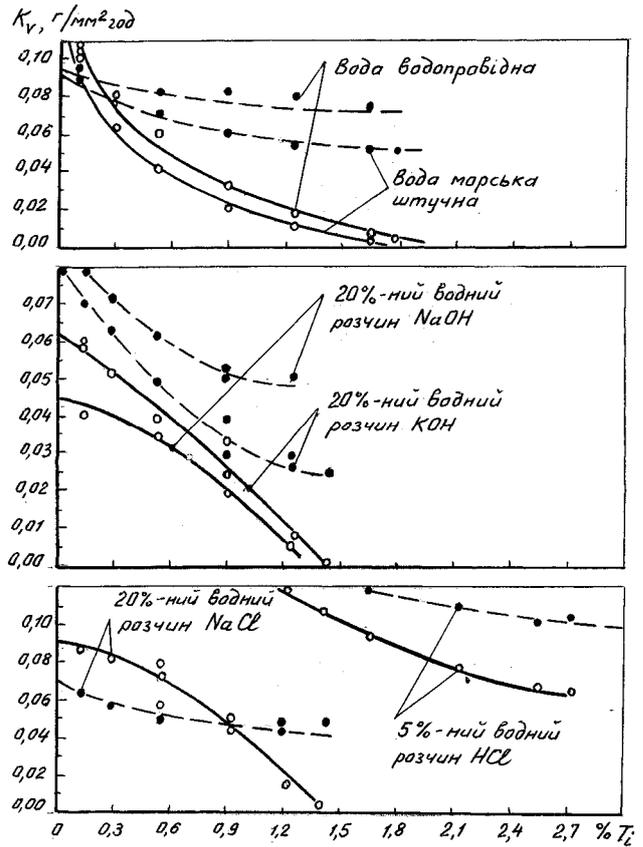


Рис.2. Вплив титана на корозійну стійкість чавуну у агресивних середовищах виробництва м'яса і м'ясних продуктів.

матеріалів на які не діють практично кухонна сіль та луги.

В напівпродуктах спиртового виробництва (бражка дріжджова, суспензія, оттоки) на поверхні зразків з'являється тонкий рихлий осад коричневого кольору, подібний осадам водопровідної і морської води, з тією лише різницею, що він легко усувається сушкою зразка. Після сушіння осаду зразки мають чисту блискучу поверхню, яка тривалий час не змінюється при багаторазовому і тривалому занурюванні зразків від 100 до 500 год.

Таблиця 2.

Агресивні середовища і глибинний показник корозії

Агресивне середовище	Ч а в у н					
	Відомий	Пропонуємий				
		0,05% A_t 0,20% T_t	0,70% A_t 0,30% T_t	0,90% A_t 0,40% T_t	0,40% A_t 1,24% T_t	0,72% A_t 0,56% T_t
Спирт етиловий-сирець	0,0373	0,0452	0,0266	0,0162	0,0121	0,0012
Спирт етиловий ректифікований	0,0079	0,0072	0,0065	0,0046	0,0013	0,0009
Бражка патокова	0,9490	0,8060	0,0780	0,0727	0,0452	0,0364
Бражка спиртова	0,5001	0,4022	0,0780	0,0124	0,0130	0,0117
Барда патокова	0,2060	0,1702	0,1455	0,0798	0,0733	0,0416
Суспензія	0,2304	0,2800	0,2704	0,2274	0,2188	0,0739
Оттоки	0,1794	0,1702	0,1700	0,1185	0,0739	0,0771
Вода водопровідна	0,1550	0,0722	0,0528	0,0136	0,0178	0,0143
Вода морська штучна	0,0373	0,0456	0,0266	0,0134	0,0095	0,0099
Водний розчин $NaCl$	0,0486	0,0456	0,0450	0,0044	0,0041	0,0016
Водний розчин $NaOH$	0,0372	0,0487	0,0259	0,0026	0,0024	0,0012
Водний розчин KOH	0,0439	0,0350	0,0331	0,0027	0,0027	0,0026
Водний розчин HCl	1,7250	1,7100	1,7092	0,2326	0,2100	0,1206

При цьому колір розчинів мінявся від світло – коричневого (100 год. витримки) до темно – коричневого (більше 500 год. витримки). В барді і бразі поверхня зразків набувала матового відтінку замість блискучої металевої, а в спирті колір зразків не змінювався.

Для в'ясування причини таких змін в цих розчинах необхідно додаткові і спеціальні дослідження, що вихо-

дять за рамки даної роботи.

На основі проведених досліджень можна зробити слідуєчі загальні висновки:

1. Збільшення вмісту титану в сірих чавунах до 1,2...2 % (у вазі) приводить до отримання корозійностійких чавунів зі збереженими механічними та технологічними властивостями.
2. Запропоновані для деталей машин і апаратів харчової промисловості чавуни до складу яких входить титан не є токсичними.
3. Матеріали які використовуються для легування чавуну є дешеві і недефіцитні.

Література

1. А.С. 730859, СССР; Опубл. 30.04.80. Бюлетень № 16 // Авторы: Лозовский А.П., Суходольская Е.А., Эйхгорн Ю.Р. и др.
2. А.С. 872588, СССР; Опубл. 15.10.81. Бюлетень № 38 // Авторы: Лозовский А.П., Суходольская Е.А., Кириченко В.Я.
3. Методика проведения испытаний коррозионной стойкости машиностроительных материалов. [РТМ 26-01-21-88]. – М.: ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1968.

УДК 621.771.63-423.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ДОПУСТИМЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕСТАХ ИЗГИБА МЕТАЛЛА НА ПРОФИЛЯХ ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ГОТОВНОСТИ

Пивовар В.С., Плеснецов Ю.А. канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The procedure of definition of the peak permissible stretching strains permitting represented to determine a reserve of a plasticity of metal in places of an arcuation of roll-formed shapes of heightened industrial availability depending on geometrical parameters of their devices and material.

При разработке технологии производства профилей повышенной производственной готовности, различных по форме, размерам и материалу, важно заранее знать для каждого отдельного случая максимальные допустимые (критические) деформации в местах изгиба, при которых не нарушается сплошность металла (не появляются трещины). В качестве контрольных показателей используются следующие величины [1,2]:

- утонения в местах изгиба;
- растяжение волокон на наружной поверхности мест изгиба.

Сопоставление расчетных значений указанных величин (для конкретных условий) или фактических величин, замеренных на переходных формах и на готовом профиле со значением истинной деформации для данного материала (предшествующей разрыву шейки при растяжении образца) позволяет оценить запас пластичности металла в местах изгиба и на стадии проектирования предусмотреть наиболее рациональное использование этого запаса. Указанная методика достаточно полно разработана для гнутых профилей с простой конфигурацией поперечного сечения (швеллеры, уголки)

Цель работы - создание методики определения максимальных допустимых растягивающих деформаций, позволяющей определять запас пластичности металла в местах изгиба гнутых профилей повышенной производственной готовности в зависимости от геометрических параметров элементов профилей и материала

В работе получена формула для определения максимального утонения в местах изгиба профилей повышенной производственной готовности (в том числе с элементами двойной толщины) в зависимости от параметров профиля

$$\Delta s_{\max \text{ доп}} = 0,006 s_0 \sqrt{\frac{s_0 b}{R_g}} \cdot \varphi^{\frac{2}{3}}, \quad (1)$$

где s_0 - исходная толщина заготовки; b - ширина подгибаемого элемента; φ - угол подгибки; R_g - внутренний радиус места изгиба.

Для профилей из рядовых марок сталей при изгибе металла на 90° (1,57 рад) рекомендуется принимать критический радиус $r_k = \left(\frac{R_g}{s_0}\right)_{\min} = 0,16$, из низколегированных - $r_k = 0,27$ [2].

После подстановки в (1) указанных значений критических радиусов и $\varphi = 1,57$ рад, получим формулы для определения максимального допустимого утонения:

$$\text{- для рядовых марок сталей} \quad \Delta s_{\max \text{ доп}} = 0,02 s_0 \sqrt{b}; \quad (2)$$

$$\text{- для низколегированных сталей} \quad \Delta s_{\max \text{ доп}} = 0,0156 s_0 \sqrt{b}. \quad (3)$$

Общая деформация поверхностных слоев металла с наружной стороны мест изгиба может быть представлена как сумма деформаций от собственно изгиба и от поперечной вытяжки, возникающей в результате дополнительного воздействия подгибаемых элементов на деформированное состояние мест изгиба [1]:

$$e = e_{\text{из}} + e_s, \quad (4)$$

где $e_{из}$ - деформация от чистого изгиба, определяемая по зависимости (5),

$$e_{из} = \ln \frac{2R_n}{R_n + R_g}; \quad (5)$$

e_s - деформация от поперечной вытяжки:

$$e_s = \ln \frac{s_0}{s} \quad s = s_0 - \Delta s \quad (6)$$

R_g и R_n - внутренний и наружный радиусы мест изгиба;

$$R_n = R_g + s_0 \quad (7)$$

Из (5) следует, что составляющая деформации $e_{из}$ (без учета утонения) от чистого изгиба не зависит от ширины подгибаемых элементов. Принимая в расчет (7), а также значения $R_g = 0,16s_0$ (для стали Ст3) и $R_g = 0,27s_0$ (для 09Г2) в соответствии с рекомендациями работы [2], получим составляющую деформации поверхностных слоев, равную соответственно 0,565 и 0,48.

Максимальная допустимая составляющая деформации e_s с учетом (2) и (3) может быть выражена следующим образом:

$$e_s = \ln \frac{1}{1 - 0,02\sqrt{b}}; \quad e_s = \ln \frac{1}{1 - 0,0156\sqrt{b}}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что величина e_s зависит от ширины подгибаемых элементов (возрастает с ее увеличением независимо от толщины профилируемой полосы), что делает более значимым вклад e_s в суммарной деформации мест изгиба.

С использованием (4) и (8) были рассчитаны максимальные допустимые деформации наружных растянутых волокон в местах изгиба при ширине подгибаемых элементов от 40 до 180 мм. Границы этого интервала определены с учетом максимальных объемов производства гнутых профилей повышенной производственной готовности с полками в диапазоне указанной выше ширины. Результаты расчета представлены в таблице.

Таблица

Расчетные значения максимальных допустимых деформаций при ширине подгибаемых элементов 40...180 мм

Сталь	Вид деформации	Значение максимальные деформации при ширине подгибаемой полки, мм							
		40	60	80	100	120	140	160	180
Ст3	Общая e	0,7	0,733	0,762	0,788	0,812	0,835	0,857	0,877
	От поперечного растяжения e_s	0,135	0,168	0,197	0,223	0,247	0,270	0,292	0,312
09Г2	Общая e	0,584	0,609	0,631	0,65	0,688	0,685	0,699	0,714
	От поперечного растяжения e_s	0,104	0,120	0,151	0,17	0,188	0,205	0,219	0,234

Экспериментально установленное значение истинной деформации, предшествующей разрыву в шейке образца, для стали Ст3сп составляет 0,92 [3], то есть превышает любое из расчетных значений для всех ширин подгибаемых элементов. С увеличением ширины подгибаемой полки эти значения сближаются.

Выводы

1. Описанная методика определения максимальных допустимых растягивающих деформаций позволяет определять запас пластичности металла в местах изгиба гнутых профилей повышенной производственной готовности в зависимости от геометрических параметров их элементов и материала и, следовательно, обоснованно назначать более жесткие режимы профилирования, не рискуя вызвать появление трещин в местах изгиба.

Литература

1. Производство и применение гнутых профилей проката. Справочник. Под редакцией И.С. Тришевского. - М.: "Металлургия", 1975. - 536 с.
2. Теоретические основы процесса профилирования. Тришевский И.С., Докторов М.Е. - М.: "Металлургия", 1980. - 288 с.
3. Тришевский И.С., Стукалов В.П. Исследование деформаций металла при пластическом изгибе на 180°. Труды УкрНИИМета "Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката", выпуск 15. - Харьков: УкрНИИМет, 1970. - с. 123-137.

УДК 621.771.63.002.5

О ВОЗМОЖНОСТЯХ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ГОТОВНОСТИ**Пивовар В.С., Плеснецов Ю.А. канд. техн. наук, Кириллов Г.И. канд. техн. наук**
(г. Харьков, Украина)

The analysis of the basic tendencies of metal using in the world is carried spent. The basic tendencies are reduced to reaching the greatest possible personalising of used structural materials with reference to requirements of their service in workpieces.

В условиях создания в Украине основ рыночной экономики, конкурентной среды проблема энерго- и материалоёмкости промышленной продукции и вывода ее по этим показателям на уровень, достигнутый в ведущих промышленно развитых странах, становится первоочередной.

Цель работы - определение основных тенденций развития производства одного из наиболее эффективных видов металлопродукции - гнутых профилей повышенной производственной готовности.

Несмотря на разработку принципиально новых материалов и технологий их производства, профили, изготовленные формовкой в валках, из сталей различных марок сохраняют свои позиции основных конструкционных материалов современности. Это связано с возможностью достижения широкой гаммы их физико-химических и механических свойств, оптимальным соотношением между ценой и эффективностью использования, а также развитой сырьевой и технологической базами производства стальных профилей различной конфигурации и назначения.

Основная тенденция металлопотребления в современном мире заключается в достижении максимально возможной индивидуализации используемых конструкционных материалов применительно к условиям их службы в изделиях. Структура спроса на стальные профили и требования к ним в последние десятилетия претерпевают существенные изменения вследствие повышения требований к их эксплуатационным характеристикам, которые заключаются: в усложнении условий эксплуатации; в обеспечении удобных соединений в конструкциях; в стремлении к уменьшению массы и габаритов изделий; в ужесточении требований к механическим свойствам профилей в тонких сечениях.

В последнее десятилетие в Украине проявились особенности в подходе к разработке и освоению производства новых эффективных видов металлопроката. Ключевой становится переориентация производителей металлопроката на производство конкурентоспособной продукции, удовлетворяющей перчисленным выше требованиям. В развитии прокатного производства Украины должно произойти увеличение (до 70%) доли листового проката в общем объеме его производства с целью ускоренного роста выпуска металлопродукции, максимально приближенной к готовым изделиям. Одним из эффективных путей экономии металла является увеличение производства и поиск новых сфер применения гнутых профилей - наиболее экономичного вида металлопроката. Технологические возможности валковой формовки позволяют изготавливать профили практически любой длины, ширины, с самой сложной формой поперечного сечения. Гнутые профили повышенной производственной готовности являются практически готовыми к применению деталями и изделиями и требуют в ряде случаев минимальной дальнейшей механической или другой доработки.

К основным потребителям гнутых профилей, как известно, можно отнести различные подотрасли машиностроения и строительной индустрии.

В строительстве профили повышенной производственной готовности используются в качестве стеновых и кровельных панелей, подвесных потолков, оконных и дверных блоков. Область их применения постоянно расширяется. При строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений в странах Европейского экономического сообщества (ЕЭС) в массовых количествах применяются стеновые и кровельные панели, подвесные потолки, сборно-разборные коттеджи, оконные и дверные блоки из профилей повышенной производственной готовности. Кроме металлических конструкций в настоящее время оконные и дверные блоки изготавливают также из дерева и прессованием одной из разновидностей пластмасс - поливинилхлорида (ПВХ).

Традиционные конструкции из дерева имеют существенные недостатки - мировой дефицит древесины и высокая стоимость качественных изделий. Для оконных и дверных блоков из ПВХ до настоящего времени не решена проблема их утилизации после исчерпания срока службы (15...20 лет). В странах ЕЭС проблема утилизации таких блоков уже представляет серьезную экологическую проблему.

В рыночных условиях производители и потребители металлопродукции должны переходить к новым формам взаимодействия - от поставок металлопродукции по требованиям - к сотрудничеству в области решения совместных задач, то есть созданию профилей, являющихся готовыми деталями, или изделий из таких профилей.

Реализация в Украине наметившихся тенденций возможна не бессистемным импортом зарубежного профилирующего оборудования, а путем создания модульных профилирующих станков нового поколения. Модулями при создании такого профилирующего оборудования являются: блоки клетей; разматыватели рулонов; режущие устройства для разделения рулонного металла и готовой металлопродукции; секционные рольганги - укладыватели; прессы - автоматы, гибочные устройства; тур - головки и т. п.

Использование указанных модулей позволяет осуществлять быстрый монтаж и пуско-наладочные работы с освоением производства необходимого сортамента гнутых профилей.

Установка модулей на рамы позволяет также с минимальными затратами осуществлять реконструктивные мероприятия с модернизацией оборудования для расширения сортамента производимой металлопродукции, то есть оперативно откликаться на изменение рыночной конъюнктуры.

Указанная концепция нашла реализацию у ряда производителей гнутых профилей и профилирующего оборудования. В частности фирмой "МЕКАП" (г. Харьков) организовано производство профилей повышенной производственной готовности для строительной индустрии, а также профилирующего оборудования модульного типа.

3. ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621. 923

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Кривошапка Ю.Н., канд. экон. наук

(г. Харьков, Украина)

The economical approaches to creation of competitive mechanical engineering commodity

Переход к рыночной экономике, создание машиностроительной продукции, которая по качеству и цене могла бы конкурировать с лучшими мировыми аналогами, заставляет все больше внимания уделять уровню применяемых технологий металлообработки и др.

С одной стороны, технологии должны обеспечивать высокое качество изготавливаемых изделий. С другой стороны, они должны быть высокопроизводительными, мало энергозатратными, что бы снизить технологическую себестоимость и цену готовой продукции.

В связи с этим, важно оценку уровня применяемых и разрабатываемых технологий производить в первую очередь в количественном выражении стоимостных показателей.

Для этого разработку оптимальной маршрутно-операционной технологии обработки деталей машин эффективно производить на основе структурно-параметрической оптимизации по критерию себестоимости обработки.

Рассматривая две статьи затрат, связанные с заработной платой рабочего и затратами на инструменты, себестоимость C выражается:

$$C = N \cdot t_n \cdot S \cdot k + \frac{N \cdot t_n}{T} \cdot Ц,$$

где N - количество изготавливаемых деталей; t_n - норма времени на обработку детали; S - тарифная ставка рабочего; k - коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на заработную плату рабочего; T - стойкость инструмента; $Ц$ - цена инструмента.

Для обоснования путей уменьшения себестоимости обработки C необходимо знать функциональную связь параметров t_n и T , установленную аналитическим или эмпирическим путем. Обычно в расчетах эту связь не рассматривают, сравнивают по себестоимости лишь отдельные варианты для вполне конкретных значений t_n и T .

В результате приходим к частным решениям, далеко не оптимальным. Для того чтобы получить более общие оптимальные решения, необходимо подчинить экономическую формулу себестоимости обработки C технологическим закономерностям в виде функциональной связи t_n и T , т.е. по сути, соединить знания экономиста и технолога. Этот путь открывает принципиально новые возможности в проектировании технологических процессов, технологической подготовке производства.

Например, подстановкой в приведенную зависимость формулы для расчета стойкости инструмента T , выраженной через t_n , определяется экстремум (минимум) себестоимости обработки C и реализующие его оптимальные значения параметров T и t_n .

Это позволяет с единых позиций сравнивать различные схемы обработки, режимы резания, различные режущие инструменты, обосновать способы увеличения T и уменьшения t_n и $Ц$ (применение износостойких покрытий инструментов, прогрессивные технологии обработки инструментов, новые конструкции инструментов и т.д.).

В настоящее время проблемам механической обработки деталей машин уделяется чрезвычайно большое внимание в научно-технической литературе. Однако, недостаточно решены вопросы математического описания технологических параметров обработки, которые входят в зависимость определения экономического параметра – себестоимости обработки.

В связи с этим нами разработаны математические модели различных процессов обработки материалов, позволяющие установить аналитические зависимости между параметрами t_n и T , и провести анализ себестоимости обработки.

В результате под руководством д.т.н. Новикова Ф.В. разработаны эффективные процессы алмазного шлифования с применением высокопроизводительных схем однопроходного глубинного шлифования, маршрутно-операционные технологии финишной обработки материалов (повышенной твердости) с обеспечением высоких показателей точности и качества обработанных поверхностей, методики расчета оптимальных режимов резания и выбора оптимальных способов и условий финишной обработки материалов.

Разработанные технологии механической обработки широко внедрены в производство, в частности, технологии алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов на операциях круглого, плоского и внутреннего шлифования, заточки твердосплавных инструментов и т.д.

УДК 658.032.12

ФОРМИ ПОГОДЖЕННЯ ІНТЕРЕСІВ АКЦІОНЕРІВ ТА ВИЩОГО КЕРІВНИЦТВА**Попов О.Є., канд. екон. наук***(м. Харків, Україна)**The forms of the coordination of concerns of the shareholders and maximum management*

Правила і норми взаємовідносин між акціонерами та вищим керівництвом акціонерного товариства є одним з головних факторів, що обумовлюють стабільність корпоративних відносин та ступень захисту інтересів їх учасників. Належне корпоративне управління має забезпечити високий ступінь погодженості прагнень власників та найманих ними вищих керівників, від чого великою мірою залежатиме можливість досягнення корпорацією задовільних фінансових результатів. Проте саме ці результати в однаковій мірі є джерелом задоволення інтересів акціонерів та вищих керівників акціонерного товариства, тобто можуть ставати приводом для виникнення корпоративних конфліктів.

Різноспрямованість прагнень зазначених учасників корпоративних відносин та обмежені можливості для повного задоволення їхніх інтересів обумовлюють виникнення між ними численних протиріч економічного характеру. Необхідність урегулювання таких конфліктів, забезпечення сталого співробітництва учасників корпорації призводить до необхідності формування відповідних механізмів погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва акціонерного товариства. Найбільш розповсюдженими формами такого погодження є адміністративні (здійснення вибіркового контролю поточної діяльності вищих керівників або особисте втручання акціонерів до управління корпорацією) та економічні (удосконалення форм і систем оплати праці вищого керівництва, використання складних форм стимулювання, таких як участь персоналу у прибутках АТ, надання керівникам та іншим найманим працівникам акціонерного товариства часток в акціонерному капіталі, використання адміністративних опціонів тощо).

Більшість учених пояснюють економічну природу взаємовідносин акціонерів та найманих вищих керівників через дві основні концепції: сигнальну (інформаційну) та агентську. Обидві концепції виходять з передумови про відокремлення прав власності та функцій управління в корпорації. З цієї точки зору акціонери вважаються портфельними інвесторами, що вкладають кошти до капіталу корпорації в розрахунок на отримання в подальшому частки її прибутку у виді дивідендів.

Поведінка акціонерів відрізняється від дій кредиторів відповідно до різниці у ризикованості вкладання фінансових ресурсів: необхідність повернення боргу та виплати за відсотками беззастережно визначається умовами кредитування, в той час як для акціонерів не існує надійних гарантій щодо отримання дивідендів та повернення вкладеного капіталу. Відповідно до існуючих моделей формування портфелю інвестицій акціонер для скорочення систематичного ризику буде зацікавлений у формуванні широко диверсифікованого інвестиційного портфелю цінних паперів багатьох корпорацій, тобто мотивація втручання інвестора до діяльності певного акціонерного товариства буде обмежуватися через рівень прибутковості вкладень у його акції. За умови прийнятності доходу акціонера у порівнянні з можливостями альтернативного використання коштів, акціонер взагалі не буде мати приводу втручатися до діяльності корпорації.

Економічні інтереси вищих керівників акціонерного товариства, навпаки, тісно пов'язано з існуванням певного АТ: доходи керівництва не є диверсифікованими; можливості кар'єрного росту (працевлаштування до іншої корпорації) обумовлено професійними успіхами та репутацією керівника на час роботи у цій корпорації; соціальний статус керівників великою мірою залежить від репутації акціонерного товариства та громадської думки про діяльність АТ і т.ін. Тому вище керівництво має бути значно більше за власників-акціонерів зацікавлено в довгостроковому економічному зростанні корпорації, що буде важливою причиною всебічного обмеження можливого волонтаристського впливу акціонерів на прийняття стратегічних та поточних управлінських рішень.

Розподіл повноважень щодо участі в управлінні корпорацією здійснюється на основі балансу між економічними інтересами акціонерів та спроможністю менеджерів забезпечити ці інтереси: акціонери не втручатимуться до поточного та навіть стратегічного управління за умови досягнення корпорацією прийнятних з їхньої точки зору фінансових результатів.

Проте такий підхід значно спрощує складні реальні взаємовідносини, що існують між акціонерами та вищими керівниками, оскільки при цьому не беруться до уваги наступні обставини:

- 1) учасники корпоративних відносин не завжди будуть діяти виходячи з суто економічних інтересів;
- 2) оцінка акціонерами прибутковості інвестицій у цінні папери певної корпорації не є повністю об'єктивною та не завжди матиме ґрунтовну базу для порівняння з альтернативними варіантами інвестування;
- 3) мотивація й моделі поведінки акціонерів та вищих керівників АТ не є стабільними та можуть швидко змінюватися з часом, при чому передбачення спрямування цих змін для інших учасників корпоративних відносин звичайно є неможливим;
- 4) акціонери та вищі керівники можуть обирати різні способи задоволення власних інтересів, при цьому головною умовою для здійснення вибору найоптимальнішого варіанту поведінки буде наявність у певного учасника корпоративних відносин повної та достовірної інформації про наслідки того чи іншого варіанту дій;
- 5) корпоративні відносини (як будь-які інші економічні трансакції) супроводжуються трансакційними витратами: інформаційними (витрати на пошук та перевірку інформації про умови корпоративних трансакцій) та контрактними (витрати, які пов'язано із складанням та контролем виконання відповідних угод) та ін.

Інформаційна та агентська концепції економічної природи взаємовідносин акціонерів та вищих керівників з різних точок зору пояснюють причини та наслідки існування зазначених обставин.

Інформаційна концепція виходить з передумови існування високого рівня невизначеності при прийнятті інвесторами (насамперед - потенційними акціонерами) інвестиційних рішень та необхідності скорочення цієї невизначеності

в процесі корпоративних відносин. Інформація про стан та умови корпоративного співробітництва розподіляється за групами його учасників нерівномірно (асиметрично), при цьому обізнаність акціонерів про поточну діяльність корпорації великою мірою обмежується відомостями, які ним прямо надають вищі керівники. Таким чином, керівництво корпорації (інсайдери) пропонує інвесторам-аутсайдерам цінні папери, справжня доходність яких відома лише інсайдерам. Проте необхідною умовою розширення діяльності корпорації є залучення додаткових інвестицій у розвиток АТ, тому вищі керівники будуть зацікавлені у виборі таких моделей поведінки, що стануть сигналізувати інвесторам про підвищену привабливість вкладень в акціонерний капітал певної корпорації. Для забезпечення переконання потенційних акціонерів (“принципалів”) у надійності інвестицій у акції вищі керівники (“агенти”) вимушені будуть обирати найбільш прийнятну для інвесторів стратегію розвитку корпорації, тобто прагнути до збільшення доходу “принципала”. Основними сигналами про вибір такого роду стратегії є стабільне збільшення прибутків корпорації, зростання ринкової вартості акцій, обсягів діяльності та ін.

Достовірність сигналів вищих керівників буде забезпечуватися через укладання досконалих угод інвестування та можливість періодичного перегляду умов цих угод з боку принципала. Добросовісне виконання вищими керівниками - агентами - угод з наявними принципалами сприятимуть укладанню нових угод з потенційними інвесторами, в іншому випадку корпорація зовсім не буде отримувати зовнішнього фінансування, необхідного для досягнення внутрішньоорганізаційних цілей найманого персоналу. Саме на такій основі буде здійснюватися погодження інтересів акціонерів та вищих керівників АТ, а корпоративні конфлікти майже не будуть виникати через відсутність конфлікту інтересів.

Інформаційна концепція ґрунтується на ствердженні про довершеність угод між акціонерами та найманими керівниками, а також про повну добросовісність поведінки цих учасників при виконанні укладених угод. Проте в реальності це ствердження спростовується через неможливість складання повністю доведеного та однозначного контракту між принципалом та агентом.

Асиметричність інформації про корпоративні відносини призводить до виникнення труднощів здійснення об'єктивної оцінки дій агента та передбачення їхніх наслідків. Так, причиною збитків корпорації однаковою мірою може вважатися некомпетентність вищого керівництва або вплив об'єктивних зовнішніх факторів (наприклад, несприятливу кон'юнктуру ринку). Тому цілком неможливим є складання такої угоди між агентом і принципалом, за умов якої винагорода агента залежала б тільки від його зусиль, тобто забезпечувала пряму пропорційність рівня оплати труда вищого керівництва від доходу акціонерів корпорації. Крім того, визначення характеру корисності більшості вчинків вищого керівництва дуже утруднено через відсутність чітких та недвозначних критеріїв оцінки.

З іншого боку, навіть за подолання зазначених обмежень майже неможливим є складання угоди, за яку агент повною мірою відповідав би за наслідки власних вчинків (так званого “повного контракту”). Причинами неповноти угоди між принципалом та агентом є також цілком можлива несхильність агенту до зайвого ризику та існування значних витрат на укладання контракту або агентських витрат.

Агентські витрати - витрати на забезпечення прав та інтересів акціонерів, кредиторів і вищого керівництва корпорації, які можуть бути ущемлені в разі виникнення будь-якого конфлікту між цими учасниками корпоративних відносин.

Агентські витрати розділяються на прямі (витрати на укладання формальних і неформальних угод, на контроль принципала за виконанням цих угод, на демонстрацію агентом готовності та здатності надалі виконувати умови контракту) і непрямі (обсяги доходу, який було втрачено через недосконалість процедур контролю принципала за діями вищого керівництва). Причинами недосконалості акціонерного контролю та виникнення непрямих витрат є потенційна можливість перевищення рівня розходів на впровадження системи ретельного контролю над корисним ефектом від нього.

Існування агентських витрат вирішальною мірою пов'язано з забезпеченням збереження акціонерного капіталу та стабільного зростання вартості корпорації. За умов наявності значного рівня невизначеності при прийнятті стратегічних рішень у цій сфері, рівень агентських витрат на передбачення можливих варіантів розвитку подій, укладання відповідних складних угод та контроль дотримання їхніх умов буде занадто високим. В цьому випадку для принципала набагато вигідніше буде хоч би частково прямо контролювати дії агента – вищого керівництва, тобто особисто втручатися в управління діяльністю корпорації.

Таким чином, вибір форми погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва акціонерного товариства залежатиме від двох основних груп факторів:

- 1) рівень конкуренції на товарних, фінансовому ринках та на ринку праці;
- 2) співвідношення між потенційними агентськими витратами, потенційними витратами на здійснення безпосереднього втручання інвесторів в управління корпорацією та можливими збитками акціонерів від ущемлення їхніх інтересів вищими керівниками корпорації.

Між цими групами факторів існує складна залежність: некомпетентні дії вищого керівництва на товарному ринку здатні призвести до скорочення котирувань акцій на фінансовому ринку, та, як наслідок, до збитків акціонерів та примусового звільнення керівників. Так само зайві обмеження з боку акціонерів щодо самостійності керівництва АТ при прийнятті управлінських рішень можуть стати причиною зниження конкурентоспроможності корпорації, зменшення акціонерного капіталу та ін.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМ РОЗВИТКОМ ПІДПРИЄМСТВА

Гриньов А.В., канд. екон. наук
(м. Харків, Україна)

Simulations of control procedure by development of firm.

Досягти абсолютної подібності процесу управління інноваційним розвитком підприємства неможливо. Це зумовлює необхідність використання різних моделей, що потребує їх класифікації. Важливою ознакою таких моделей є ступінь адекватності процесу управління інноваційним розвитком підприємства, у відповідності з яким усі моделі можна розділити на такі види:

- повна, що забезпечує повну подібність моделі процесу управління інноваційним розвитком підприємства в просторі і в часі;
- неповна, характерною особливістю якої є неповна подібність;
- наближена, в основі побудови якої лежить наближена подібність, тобто певні аспекти інноваційної діяльності ігноруються.

В процесі управління інноваційним розвитком підприємства важливе значення має наглядне моделювання, в рамках якого виділяються гіпотетичні і макетні моделі. Гіпотетичні моделі базуються на причиннонаслідкових зв'язках та використанні певної гіпотези про закономірності протікання інноваційної діяльності та відображає рівень знань розробників нової продукції. Вони можуть бути використані, коли знань про інноваційний процес недостатньо для побудови формальної моделі.

Аналогові моделі передбачають використання аналогій певних рівнів функціонування підприємства.

Значне місце в процесі управління інноваційним розвитком підприємства займають макети, в основі побудови яких лежить аналогія.

У процесі дослідження управління інноваційним розвитком підприємства з використанням математичних методів необхідно здійснювати його формалізацію, що передбачає: виділення основних характеристик і параметрів, їх умовне позначення та класифікація з використанням певних ознак, встановлення зв'язків і співвідношень між ними.

Математичні моделі дозволяють отримувати характеристики інноваційного процесу на підприємстві. При цьому до таких моделей ставляться вимоги забезпечення потрібної достовірності та точності результатів, які отримуються. Слід враховувати, що такі моделі описують інноваційний процес з деяким ступенем адекватності і діляться на:

- аналітичні, що можуть бути представлені у вигляді певних функціональних співвідношень і досліджуються з використанням таких методів: аналітичного, чисельного і якісного;
- імітаційні, що набувають широкого застосування у зв'язку з розвитком сучасної обчислювальної техніки, активним використанням комп'ютерних технологій і представляють собою машинне моделювання. Імітаційна модель представляє собою логіко-математичний опис системи управління інноваційною діяльністю підприємства. Вона представляє динамічну поведінку цієї системи за допомогою кросування її з одного стану в інший в певному інтервалі часу. Імітаційна модель включає такі складові: компоненти, змінні, функціональні залежності, систему обмежень і цільову функцію. Основними етапами імітаційного моделювання є: формулювання проблеми з визначенням цілей, розробка моделі, підготовка даних (їх відбір, ідентифікація та специфікація), трансляція моделі (її перевід на машинну мову), валідація (оцінка потрібної точності і адекватності), стратегічне і тактичне планування, експериментування, інтерпретація, реалізація і документування моделі;
- комбіновані, що використовуються в процесі аналізу інноваційної діяльності підприємства і поєднують переваги аналітичних і імітаційних моделей. Побудова таких моделей передбачає попередню декомпозицію цілей інноваційної діяльності підприємства і розробку для виділених складових аналітичних чи імітаційних моделей.

Імітаційне моделювання серед методів системного аналізу займає особливе місце тому, що його можна розглядати в якості інструменту дослідження складних систем, управління якими здійснюється в умовах невизначеності зовнішнього середовища. Його перевагами слід вважати: можливість розгляду більшої кількості альтернативних варіантів, підвищення якості управлінських рішень та більш точне прогнозування їх наслідків.

Інноваційна діяльність підприємства, пов'язана з підготовкою та випуском нової продукції передбачає використання натурних моделей – виробничого експерименту, комплексного випробування та наукового експерименту. Основною характеристикою експерименту є те, що він спрямований на виявлення критичних ситуацій і визначення меж стійкості процесів, які відбуваються в інноваційній діяльності. Особлива увага приділяється комплексним випробуванням, які дають можливість виявляти загальні закономірності здійснення інноваційного процесу.

Науковий експеримент передбачає широке використання сучасної обчислювальної техніки, можливість втручання дослідників в сам процес експерименту. В сучасних умовах одним з видів реального моделювання є фізичне, в процесі якого задаються певні характеристики зовнішнього середовища, досліджується поведінка інноваційного процесу, що моделюється при заданих (або штучно створених) умовах зовнішнього середовища і може протікати в реальному та нереальному масштабах часу.

Математичне планування експерименту набуває значення для систем, на які впливає багато різноманітних факторів. Сучасна математична теорія оптимального планування експерименту передбачає вивчення механізму і властивостей інноваційного процесу, оптимізацію технологічних процесів. Експериментальні роботи засно-

УДК 656.012.4

ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСТНОГО АНАЛІЗУ В ІННОВАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА**Власенко В.В.***(м. Харків, Україна)**Usages of the functional cost analysis in activity of firm*

Ефективність управління взагалі і особливо інноваційною діяльністю на підприємстві залежить від системи організації цієї діяльності, яка дозволяє врахувати всі її аспекти і забезпеченість необхідними ресурсами інноваційного процесу (матеріальними, трудовими, інформаційними тощо). Мова йде, передусім, про функціональність організаційної структури підприємства або його підрозділів, зайнятих інноваційною діяльністю, про обґрунтованість методів вживаних в діяльності даних підрозділів, про опрацювання підходів щодо обґрунтування економічних процесів і методик їх аналізу та дослідження.

Основними параметрами організаційної структури інноваційної діяльності повинні бути інформаційна забезпеченість, відкритість системи, переважність горизонтальних зв'язків, мобільність і угрупованість, чіткість розподілу обов'язків підрозділів в межах етапів інноваційного процесу на підприємстві, що в сукупності повинно забезпечувати творче середовище, зкоординованість діяльності і збалансованість як матеріальних, трудових і фінансових витрат, так і витрат часу.

Побудова ефективно функціонуючої організаційної структури управління на підприємстві повинна мати обґрунтовану дійову основу - методіку, що дозволила би змодельовати економічні процеси, що відбуваються під час інноваційної діяльності в умовах ринкової економіки, які характеризуються динамічністю протікання, мінливістю впливаючих та визначаючих факторів, наявністю людського фактора, а також процесу творчості, що робить кількісний опис, прогнозування і аналіз такої діяльності дуже складними.

Існує досить велика кількість методів та методик, що дозволяють враховувати особливості інноваційної діяльності, описати процеси що відбуваються в межах життєвого циклу інновації. Серед них особливо виділимо методи експертних оцінок, методи екстраполяції, факторний і кореляційний аналіз, методи логічного моделювання (інформаційні моделі), сітьові графіки тощо. Більшість з цих методів мають суб'єктивний підхід, що дозволяє описати певні процеси або врахувати якісь окремі фактори впливаючі на інноваційну діяльність підприємства на певному етапі ЖЦІ, але вони не дозволяють описати інноваційний процес в цілому, а відповідно і прогнозувати розвиток інноваційних подій загалом, в сукупності всіх впливаючих факторів на кожному з етапів. Головна задача при моделюванні інноваційної діяльності полягає в комплексному урахуванні особливостей сутності інноваційного процесу: детермінованість, евристичність протікаючих процесів, ймовірність їх виникнення і їх результатів, неформалізованість, умовність меж протікання в часі більшості процесів, а також наявність процесів, поява і протікання яких обумовлена суто аспектами творчості. Саме тому інновація не піддається статистичному моделюванню в традиційному тлумаченні, а потребує комплексності дослідження, функціонально-цільової спрямованості методик на певні напрямки розвитку інноваційної діяльності, що робить опис і моделювання, а відповідно і подальше прогнозування процесів, що відбуваються під час інноваційної діяльності дуже громіздкими, потребуючими додаткових, можливо невиправданих, витрат ресурсів і особливо часу.

Виходячи з проведених досліджень основних математичних і аналітичних методів аналізу і обґрунтування інноваційної діяльності, що були проведені такими вченими, як В.М.Гриньова, А.Я. Кібанов, О.П.Ковальов, П.М. Завлін тощо, найбільш оптимальний і дозволяючий максимально врахувати особливості інноваційного процесу є метод функціонально-вартісного аналізу. ФВА представляє собою евристичний метод системного дослідження функцій процесів та інших об'єктів, спрямований на оптимізацію їх техніко-економічних параметрів на всіх стадіях життєвого циклу інновації, на збалансованість очікуваних результатів і витрат пов'язаних з їх досягненням.

Особливості ФВА, а саме функціональний підхід, безупинність вимірювання значимості функцій і витрат на їх реалізацію, комплексність підходу тощо, обумовлюють його високу ефективність. При кваліфікованому застосуванні цього методу на перед проєктній стадії забезпечує зниження витрат на 30%, в дійочому виробництві – на 10-20%, в експлуатації – на 15%.

Одною з суттєвих переваг ФВА є стимулювання творчого мислення, яке займає одну з ключових факторів необхідних для позитивного розвитку інноваційної діяльності персоналу на підприємстві.

Згідно з основним принципом ФВА – функціональному підходу, необхідною умовою ефективності досліджуваної системи (об'єкта) є відповідність функцій і способів їх реалізації рівню витрат, пов'язаних з їх виконанням. А оптимальною системою вважається та, яка виконує в повній мірі свої головні функції, необхідні для найбільш повного задоволення поставлених споживачем перед даною системою вимог, при цьому значущість функцій для споживача повинна бути сумірна з витратами по їх реалізації.

У цей час створені передумови для того, щоб на основі накопиченого досвіду застосування ФВА в технічних системах і практики його використання в інших сферах впровадити ФВА для рішення задач неінженерного характеру. Мова йде про використання ФВА для вдосконалення саме систем управління і організації. Використання ФВА при організації управління інноваційної діяльності можна зробити як стосовно до технічних, так і нетехнічних систем. Іншими словами дослідження на підприємстві можна проводити у наступних напрямках: використання ФВА при побудові узагальненої організаційної структури підприємства, і, безпосередньо, формування організаційної структури підприємства, яка дозволяє вести інноваційну діяльність, засновану на ФВА,

тобто організація проведення ФВА в рамках інноваційного процесу на підприємстві. У першому випадку, дослідження проводяться з метою опису ФВА як базового методу, що використовується при формуванні організаційної структури підприємства, а у другому випадку, ФВА виступає як найбільш ефективний метод, що дозволяє оптимізувати витрати з передбачуваними результатами, і що використовується в інноваційній діяльності підприємства на всіх стадіях ЖЦП на підприємстві. Саме розробка методик застосування ФВА в цих напрямках і є пріоритетним шляхом сучасної економічної науки, що сприятиме вдосконаленню інноваційних систем на підприємствах промисловості і розвитку їх інноваційного потенціалу.

Зазначимо, що проведення ФВА повинно стати не тимчасовою кампанією, а постійно діючої програмою. Тому використання ФВА пов'язано з утворенням в системі управління підприємством нового апарату спеціалістів, що займаються виключно питаннями зниження витрат виробництва.

Практика показує, що проведення ФВА дає ефективні результати тільки в випадку, коли в систему управління підприємством вносяться відповідні зміни. Безпосереднє проведення ФВА повинно здійснюватися змішаною робочою групою, що складається із спеціалістів різного профілю, представляючи основні підрозділи підприємства. Члени цієї групи, по можливості, повинні бути повністю або частково визволені від виконання інших обов'язків. Поряд з робітничою групою в системі управління повинні бути встановлений спеціальний орган, зкладаючийся з начальників основних підрозділів підприємства, в функції якого входить регулярний розгляд рекомендацій групи ФВА, керівництво і координація всіх робіт, пов'язаних із здійсненням цих рекомендацій. Під основними підрозділами стосовно інноваційного процесу на підприємстві можна вважати ті підрозділи, що ведуть певну інноваційну діяльність згідно з етапами інноваційного процесу взагалі або життєвим циклом конкретного інноваційного проекту (інновації).

Вище керівництво фірми повинно приймати активну і саме безпосередню участь в здійсненні програми ФВА. Спрямувати. Контролювати і координувати цю програму на всіх її етапах. ФВА слід проводити в певній послідовності при чіткому дотриманні відповідної методики.

Таким чином, впровадження сукупності наведених заходів з відповідним економічним обґрунтуванням і з використанням певного математичного апарату, дозволяє вирішити виникаючі проблеми розвитку інноваційної сфери сучасної економіки України. Але у той же час таке впровадження потребує подальших розробок, особливо в методичному плані, як стосовно впровадження, так і їх подальшого використання методики ФВА у вказаних напрямках.

Література

- 1 Грамп Е. ФСА и его использование в промышленности зарубежных стран. – М, 1971. – 48 с.
- 2 Гринева В.Н. Функционально-стоимостной анализ в подготовке производства новой техники. – Х.: Выща шк. Изд-во при ХГУ, 1989. – 144 с.
- 3 Инновационный менеджмент: Справ.пособие / под ред. П.Н. Завлина, А.К. Казанцева, Л.Э. Миндели. – СПб.:Наука, 1997. – 560 с.
- 4 Концепція науково-технологічного та інноваційного розвитку України // Офіційний вісник України. - 1999. - №29. – С.12-19.
- 5 Україна: Наука та інноваційний розвиток / А.С.Гальчинський, В.М.Геєць, В.П.Семиноженко. – К., 1997. – 68 с.
- 6 Функционально-стоимостной анализ издержек производства / под ред.Б.И.Майданчика. – М.:Финансы и статистика, 1985. – 271 с.

УДК 336.64

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

Шевченко І.В.

(м. Харків, Україна)

Methodical fundamentals of implementation of the investment project.

Реалізація інвестиційного проекту передбачає визначення обсягу фінансування з окремих видів робіт, яке в економічній літературі носить назву капітального бюджету реалізації інвестиційного проекту (2,3). Метою планування капітальних витрат є забезпечення реалізації інвестиційного проекту у передбачуваних обсягах при відповідному рівні технології та технічного оснащення з мінімальним обсягом витрат. Такий бюджет складається на основі календарного плану реалізації інвестиційного проекту, кошторису витрат, стратегії та схеми фінансування тощо. При розробці капітального бюджету реалізації інвестиційного проекту доцільно використовувати принцип гнучкого його складання, що дозволяє у випадку необхідності здійснювати його корегування з урахуванням реальних умов його реалізації. Це зумовлює необхідність розробки заходів щодо як реалізації інвестиційної програми підприємства, так і її поточного корегування. Основними причинами такого корегування є зростання темпів технологічного прогресу, що в свою чергу є наслідком появи на ринку більш продуктивних інвестиційних товарів, а також істотне зниження очікуваної ефективності окремих інвестиційних проектів в умовах зовнішнього інвестиційного середовища, що істотно змінюється, та змінах внутрішнього розвитку підприємства.

В цих умовах підвищується відповідальність осіб, які приймають управлінські рішення щодо реалізації реальних інвестиційних проектів, або своєчасного їх виходу з інвестиційної програми (у випадку коли вони не забезпечують очікуваного інвестиційного доходу та приводять до втрати частки вкладеного капіталу). Це ставить серйозні вимоги до рішень, які приймаються, бо вони повинні базуватися на глибокому аналізі поточної

кон'юнктури інвестиційного ринку та на прогнозі її подальшого розвитку.

Прийняття управлінських рішень щодо виходу інвестиційних проектів з програми має відповідні процедури, що стають у наступному:

спочатку здійснюється оцінка ефективності реалізації окремих інвестиційних проектів; потім проводиться аналіз, в результаті якого необхідно встановлювати причини, що обумовлюють зниження ефективності реалізації інвестиційних проектів. Серед таких причин можуть бути: значне збільшення тривалості будівництва, істотне зростання рівня цін і конкуренції на ринку, значне зростання вартості будівельно-монтажних робіт, ставки відсотку у зв'язку зі змінами кон'юнктури фінансового ринку, недосконалість системи оподаткування та інші причини невизначеності зовнішнього середовища;

далі необхідно сформулювати систему критеріїв та обґрунтувати ефективні форми виходу реальних проектів з інвестиційної програми підприємства. Основним критерієм для прийняття такого рішення, як правило, використовується очікуване значення чистого дисконтованого доходу в умовах реалізації інвестиційного проекту, що змінюються. Серед інших критеріїв можна відзначити збільшення тривалості періоду окупності інвестицій по проекту, зниження порівняно з бізнес-планом терміну можливої експлуатації тощо. Ефективними формами виходу можуть бути відмовлення від реалізації проекту ще до початку будівельно-монтажних робіт, продаж інвестиційного проекту у вигляді незавершеного будівництва, його акціонування на будь-якій стадії реалізації з мінімізацією питомої ваги свого акціонерного капіталу тощо;

завершальним етапом є розробка процедури прийняття та реалізації управлінських рішень щодо виходу проектів з інвестиційної програми, що передбачає визначення граничних термінів їх прийняття при зниженні ефективності проектів, визначення таких осіб, які уповноважені приймати такі рішення, визначення можливих форм найбільш ефективного реінвестування капіталу.

Загальновідомо, що фінансові інвестиції – це активна форма ефективного використання тимчасово вільного капіталу (1). Вони розглядаються як інструмент реалізації стратегічних цілей щодо диверсифікації поточної діяльності підприємства. Основними формами фінансового інвестування є вкладення капіталу до: статутних фондів сумісних підприємств, доходних видів грошових та фондових інструментів.

Фінансовим інвестиціям притаманні такі особливості: вони є незалежним видом господарської діяльності підприємств реального сектору економіки; їх слід розглядати як основний засіб здійснення підприємством зовнішнього інвестування в межах країни та за кордоном; вони забезпечують можливість підприємствам реалізовувати окремі стратегічні цілі свого розвитку швидше та дешевше; їх використовують з метою отримання додаткового інвестиційного доходу як застосування вільних грошових активів та захисту проти інфляції; вони дозволяють інвесторові здійснювати інвестиційну політику шляхом широкого вибору інструментів інвестування за шкалою доходність – ризик, а також підприємствам – за шкалою доходність – ліквідність; вони дають можливість зробити процес обґрунтування управлінських рішень більш простим і менш трудомістким.

Ці особливості свідчать про необхідність розробки політики управління фінансовими інвестиціями, яка включає етапи: аналіз стану фінансового інвестування в попередніх періодах; визначення обсягу та форм фінансового інвестування у попередньому періоді; оцінка інвестиційних переваг окремих фінансових інструментів і формування, ефективне управління портфелем фінансових інвестицій.

Аналіз стану фінансового інвестування включає оцінку загального обсягу інвестування капіталу в фінансові активи, темпи його змін, дослідження співвідношення, направленості на рішення стратегічних задач розвитку підприємства основних форм фінансового інвестування, динаміки й питомої ваги конкретних фінансових інструментів в загальному обсязі фінансового інвестування, оцінка рівня доходності як фінансових інструментів, так і фінансових інвестицій в цілому, аналіз рівня ризику окремих фінансових інструментів і портфеля інвестицій, а також рівня їх ліквідності.

Обсяг фінансового інвестування у наступному періоді визначається розміром вільних фінансових коштів, які накопичуються або для здійснення реальних інвестицій в поточному періоді, або для інших видатків – в майбутньому. Форми фінансового інвестування залежать від тих задач, які вирішує підприємство в процесі своєї господарської діяльності. Це, як правило, рішення задач: стратегічного розвитку поточної діяльності, приросту капіталу в довгостроковому періоді, отримання поточного доходу та захист проти інфляції тимчасово вільних грошових активів.

У зв'язку зі змінами кон'юнктури фінансового ринку знижуються окремі переваги фінансових інструментів, тому для підтримки первісних переваг його формування необхідна їх реструктуризація, що досягається за допомогою оперативного управління портфелем фінансових інвестицій.

Важливою представляється оцінка ефективності окремих фінансових інструментів інвестування, що здійснюється шляхом співставлення обсягу інвестиційних витрат з сумою грошового потоку по них, яка повертається (відсотки та дивіденди, бо амортизаційні відрахування відсутні в складі фінансових активів). У зв'язку з тим, що фінансові активи підприємства (фінансові інструменти інвестування) не амортизуються, вони можуть бути продані наприкінці терміну їх використання за ціною, що склалась на момент продажу на фінансовому ринку.

Фінансові інструменти інвестування мають відмінності порівняно з реальними інвестиціями в формуванні норми прибутку на інвестований капітал, які стають в тому, що її обирає інвестор з урахуванням рівня ризику вкладень в різні фінансові інструменти. Цим зумовлюється те, що інвестор формує також суму інвестиційних витрат на будь-який інструмент фінансового інвестування, що повинна забезпечити йому очікувану суму прибутку. Це свідчить про те, що ефективність фінансових інструментів представляє собою реальну їх вартість та за-

безпечує отримання очікуваної норми інвестиційного прибутку.

У зв'язку з тим, що більшість інвесторів з метою фінансового інвестування обирають не один фінансовий інструмент, виникає необхідність у формуванні інвестиційного портфелю. Головна мета його формування полягає у забезпеченні реалізації основних напрямків фінансового інвестування на основі підбору найбільш доходних і безпечних фінансових інструментів. Процес формування інвестиційного портфелю вимагає формулювання цілей, що забезпечують: високий рівень інвестиційного доходу в поточному періоді; високі темпи приросту інвестованого капіталу в довгостроковому періоді; мінімізацію рівня інвестиційних ризиків; його необхідну ліквідність.

Формування інвестиційного портфелю здійснюється на основі використання сучасної портфельної теорії: спочатку обґрунтовується портфельна стратегія та вибирається тип інвестиційного портфелю, що формується, потім здійснюється оцінка інвестиційних якостей фінансових інструментів інвестування на основі розрахунків рівнів доходу, ризику та взаємної коваріації. Такі розрахунки з урахуванням впливу фінансових інструментів на значення рівня доходності та ризику кладуться в основу відбору фінансових інструментів до інвестиційного портфелю, що формується. З метою зниження рівня ризику інвестиційного портфелю при рівні доходності, що очікується, здійснюється його оптимізація. На останньому етапі здійснюється оцінка основних параметрів інвестиційного портфелю.

Головним орієнтиром в процесі формування ефективного інвестиційного портфелю є його корисність, під якою розуміється отримання потенційного прибутку в довгостроковій перспективі. При чому його формування повинне здійснюватися на основі використання таких принципів: забезпечення реалізації інвестиційної стратегії; забезпечення інвестиційного портфелю необхідними ресурсами у визначений період часу; забезпечення керованості; забезпечення диверсифікації; використання ефекту синергізма; оновлення портфелю інвестицій; моніторингу й антикризового управління.

Відбір фінансових інструментів інвестування до інвестиційного портфелю спрямований на вирішення таких задач як: забезпечення рівня очікуваної доходності та рівня ризику, створення умов для диверсифікації портфелю з метою зниження ризику, формування фінансових інструментів інвестування з найменшим рівнем ризику тощо. Рішення цих задач дозволяє забезпечувати мінімально можливий рівень ризику інвестиційного портфелю при рівні очікуваного доходу, що задається.

Оцінка основних параметрів інвестиційного портфелю дає можливість визначити відповідність стартових його характеристик цільовим параметрам його побудови та формувати збалансований стартовий інвестиційний портфель. Формування такого портфелю є основою оперативного управління реструктуризацією фінансових інвестицій, основними задачами якого є обґрунтування і реалізація управлінських рішень щодо підтримки інвестиційної спрямованості інвестиційного портфелю за параметрами його доходності, ризику та ліквідності.

До основних принципів формування інвестиційних ресурсів підприємства відносяться: врахування перспектив розвитку інвестиційної діяльності, забезпечення відповідності обсягу інвестиційних ресурсів, що залучаються, обсягу інвестиційних потреб підприємства, що формуються, забезпечення оптимальності структури та мінімізації витрат по формуванню ресурсів з різних джерел, забезпечення високої ефективності використання в процесі інвестиційної діяльності. Слід відзначити, що формування необхідних інвестиційних ресурсів з метою фінансування інвестиційної діяльності підприємства представляє собою стратегічну мету його розвитку.

Література

- 1 Закон України "Про інвестиційну діяльність" // Відомості Верховної Ради України. – 1991, №47.С. 1351–1359.
- 2 Бланк И.А. Инвестиционный менеджмент. – К.: МП "Итем ЛТД", "Юнайтед Лондон Трейд Лимитед", 1995. – 448 с.
- 3 Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 144 с.

УДК 658.012.4

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНКУРЕНТНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ И КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ

Иванова О.Ю.

(г. Харьков, Украина)

Intercoupling of competitive policies of firm and competitive advantage.s

Каждое предприятие для достижения своих стратегических целей стремится в максимальной мере учитывать факторы внешней и внутренней среды, воздействовать на них для создания наилучших условий функционирования. Вместе с тем стремление предприятия в максимальной мере удовлетворить потребности покупателей должно соответствовать не только его финансовым возможностям, но также и положению конкурентов данной отрасли, угрозе появления товаров и услуг-заменителей, другими словами, интенсивности воздействия пяти конкурентных сил отрасли [1].

В сегодняшних условиях, когда экономика становится все более открытой, а количество конкурирующих предприятий и номенклатура производимых ими товаров и услуг увеличивается, на передний план выдвигаются вопросы: каким способом удержать свою долю на рынке, завоевать как можно больше потребителей и получить максимальную выгоду. Все эти задачи в современных условиях тяжело выполнимы и только при наличии

у предприятия устойчивого конкурентного преимущества оно может со временем, удерживая его и правильно им пользуясь, добиться успеха. Средством для достижения стратегических целей предприятия в условиях конкурентной среды является конкурентная стратегия, которая представляет собой план действий предприятия, направленный на достижение успеха в конкурентной борьбе на данном рынке, предусматривающий реализацию наступательных и оборонительных мер в целях преодоления пяти сил конкуренции [2]. Причем, несмотря на существующую типологию, для каждого из предприятий разрабатывается и реализуется своя уникальная конкурентная стратегия, учитывающая и разнообразие факторов макросреды, и гамму внутрипроизводственных факторов, и конкурентную позицию каждого конкретного предприятия.

В соответствии с подходом М. Портера, под конкурентным преимуществом понимается относительная категория, проявляющаяся в конкурентной среде и определяющая возможности более эффективного функционирования системы в сравнении с конкурентами [1]. Именно имеющееся у предприятия конкурентное преимущество должно быть положено в основу определенной стратегии конкуренции, т.е. конкурентная стратегия может быть действительно эффективной только при условии, что она базируется на не противоречащих ей конкурентных преимуществах.

Обратная связь между этими категориями заключается в том, что применяемая предприятием конкурентная стратегия, не только базируется на присущих только ему конкурентных преимуществах, но и используется им в качестве средства для создания новых и поддержания имеющихся конкурентных преимуществ.

При выборе конкурентной стратегии предприятие должно учитывать тот факт, что не каждое конкурентное преимущество в рамках выбранной конкурентной стратегии может быть действительно расценено как преимущество. Иными словами, каждая из конкурентных стратегий должна базироваться на строго определенном наборе конкурентных преимуществ, к различным составляющим которых предъявляются специфические требования в зависимости от выбранной стратегии. В связи с этим возникает вопрос о том, каким образом для указанных целей следует классифицировать конкурентные стратегии.

Классификация, положенная М. Портером [1] в основу "матрицы конкурентных стратегий" включает в себя две базовые конкурентные стратегии: стратегию экономии на издержках и стратегию дифференциации. Кроме того, к каждой из них может быть применена стратегия фокусирования, в результате чего выделяется еще две модифицированные базовые стратегии: стратегия лидерства в издержках и стратегия сфокусированной дифференциации.

При анализе взаимосвязи конкурентных преимуществ и конкурентной стратегии предприятия, по мнению автора, следует рассматривать преимущества под углом зрения двух базовых стратегий, поскольку с точки зрения фокусирования значение имеет не столько характер, сколько интенсивность конкретного преимущества (т.е. степень отличия по определенному критерию от аналогичных характеристик конкурентов).

Стратегия лидерства в издержках представляет собой хороший способ конкурирования на рынках, большинство покупателей которых чувствительны к цене, и выражается через стремление быть производителем с наименьшими в отрасли издержками. Цель такой стратегии состоит в том, чтобы непрерывно поддерживать и усиливать преимущество перед конкурентами по издержкам и использовать его для установления более низких цен по сравнению с конкурентами, а также за счет доли рынка конкурентов расширить свои возможности и получить дополнительную прибыль.

Стратегия дифференциации применяется в случае, когда предпочтения и нужды покупателей слишком разнообразны, чтобы их могла удовлетворить стандартизованная продукция. Необходимо тщательное изучение потребностей и поведения покупателей, чтобы выяснить какие критерии и показатели являются для них наиболее важными и ценными. Задачей предприятия, придерживающегося данной стратегии, является придание своей продукции одного или нескольких отличительных признаков, что сделает его товар более привлекательным для потребителей по сравнению с конкурирующими товарами. Конкурентное преимущество возникает в том случае если покупатели "привязываются" к определенным характеристикам, присущим продукции предприятия, использующего стратегию дифференциации.

Многообразие конкурентных преимуществ рассматривается в данной статье с точки зрения природы конкурентного преимущества. Формулирование требований к конкурентным преимуществам в зависимости от выбранной конкурентной стратегии дает возможность предприятию, ориентируясь на вид выбранной стратегии, определить, какие из имеющихся у него конкурентных преимуществ соответствуют избранной стратегии.

Конкурентные преимущества, базирующиеся на технико-технологических факторах, определяются высоким уровнем развития прикладной науки и техники в отрасли, специальными техническими характеристиками машин и оборудования, технологическими особенностями сырья и материалов, используемых в производстве товаров, техническими параметрами продукции [2]. Требования к ним в зависимости от вида выбранной стратегии различны.

Так, оборудование для производства продукции на предприятии, придерживающемся стратегии низких издержек или лидерства в издержках, должно быть недорогим и универсальным для производства больших объемов. Связано это с тем, что для производства продукции массового спроса, где существует немного путей дифференциации, не так важна эксклюзивность, как низкий уровень издержек. Таким образом, тот производитель, который сможет приобрести оборудование, аналогичное используемому конкурентами с минимальными издержками, усилит свое преимущество в низких издержках.

Что же касается оборудования, используемого при стратегии дифференциации, то для создания эксклюзивной, держащей уникальную ценность для потребителей продукции, которую не легко скопировать, необходимо современ-

ное уникальное и высокоточное оборудование, при производстве которого использованы ноу-хау или запатентованные разработки, способное выполнять сложные операции по обработке высококачественных материалов. Оборудование, изготовленное под заказ, которым не владеют конкуренты, может принести предприятию конкурентное преимущество в виде оригинального товара с набором новых и ценных характеристик. Естественно, что за товары с такими характеристиками потребители будут готовы заплатить больше, чем за товары конкурентов.

Сырье, используемое в производственном процессе на предприятии, применяющем стратегию низких издержек или лидерства в издержках, должно быть недорогим и легким в обработке. Поэтому предприятие должно заботиться о поиске дешевого сырья или искать заменители материалов из более дешевого и современного сырья. Так, например, предприятия, изготавливающие мебель, могут снизить свои издержки за счет производства мебели из ДВП, ДСП, а не из дорогого дерева. Конечно, такая продукция будет пользоваться успехом не у всех потребителей, но для таких сегментов рынка, как студенты, молодые семьи и покупатели среднего класса это – идеальный вариант. Говоря о легко обрабатываемых материалах нужно отметить, что при их использовании экономится время, что обеспечивает рост производительности труда и соответствующее снижение себестоимость продукции.

Для стратегии дифференциации требования к сырью и материалам меняются – товар, изготовленный из редкого дорогостоящего материала, обладающий новыми свойствами, будет иметь для потребителя большую ценность.

Предприятия, использующие стратегию низких издержек, применяют уже известные научные разработки, которыми пользуются и конкуренты, но важным является не пропустить нового прорыва в технологической сфере, занимаясь только проблемой снижения издержек. Этот прорыв может открыть перед соперниками возможности для снижения цены и обесценить инвестиции, сделанные лидером для снижения издержек.

Для предприятий, делающих акцент на дифференциации, научные разработки, ноу-хау и другие нововведения в этой области – весьма существенны. Новые разработки позволяют усовершенствовать товар, сделать его более интересным для потребителей или внедрить в производство совершенно новый товар с точки зрения удовлетворения новых потребностей.

Высокая степень автоматизации и механизации производства при использовании стратегии низких издержек или лидерства в издержках имеет большое значение. Она позволяет более целесообразно использовать рабочую силу и увеличить эффективность производства, что приводит к снижению издержек. Для предприятий, ориентирующихся на стратегию дифференциации, более ценным является ручной труд. Так, изделия ручной работы (ковры, мебель, ювелирные изделия) представляют собой эксклюзив, что повышает их потребительскую ценность.

Конкурентным преимуществом, базирующимся на факторах экономического характера, при применении стратегии лидерства в издержках является эффект масштаба, который проявляется в том, что предприятия, имеющие большие объемы производства, могут рассчитывать на существенно более низкие удельные затраты, чем предприятия с единичным, мелко- и среднесерийным типами производства. Это позволяет им успешно конкурировать по цене предложения.

Для предприятия, использующего конкурентную стратегию дифференциации, конкурентным преимуществом в этой сфере будет эффект опыта, который выражается в большей эффективности труда вследствие специализации по видам и методам работы, внедрения технологических инноваций в производственных процессах, оптимальной загрузки оборудования, более полного использования ресурсов, внедрения новых концепций товаров. Применение дешевой рабочей силы позволяет снизить себестоимость продукции, что дает возможность производителю конкурировать по цене изделия. При производстве же продукции на предприятии, применяющем стратегию дифференциации конкурентное преимущество будет вытекать из использования высококвалифицированной профессиональной рабочей силы, это повлечет увеличение издержек, но если фирме удастся произвести товар, привлекающий своей новизной, ценностью для потребителя, с точки зрения уникальности качественных характеристик, то эти затраты оправданы.

Конкурентные преимущества, связанные с организацией производственных процессов, в зависимости от выбранной конкурентной стратегии отвечают следующим требованиям. При использовании стратегии лидерства в издержках перед каждым сотрудником стоит определенная задача и четко обозначен путь ее решения, от того, как четко и быстро сотрудник справится с ее выполнением, будет зависеть успешность всего производственного процесса. Имеет место большой управленческий аппарат, неотступно контролирующей каждый этап производства, чтобы не допустить сбоев. Организация разделена на большое количество отделов, каждый из которых выполняет небольшую часть работы, при этом отсутствует непосредственная взаимосвязь с остальными отделами. При такой организации производства предприятие добивается снижения издержек (с сохранением требуемого уровня качества), и как следствие, имеет возможность конкурировать по цене.

В случае ориентации на стратегию дифференциации, и тем более, сфокусированной дифференциации, перед работниками ставится лишь конечная цель, а найти путь ее достижения входит в его обязанности. Поэтому перед предприятиями стоит сложная задача силами высококвалифицированных кадров, новейших технологий и научных нововведений создать ценный отличный от конкурентов товар, удовлетворяющий новые потребности. Организационная структура такого предприятия должна быть адаптивной, а все подразделения – работать в тесной взаимосвязи, добиваясь реализации полного объема работы. Контроль качества осуществляется в конце процесса производства, так называемое тестирование, апробация нового товара. Когда потребитель оценит то-

вар позитивно, його привлекать якість і характеристики нового продукту, тоді можна говорити про виникненні конкурентного переваги.

В залежності від вибраної стратегії соціально-психологічний фактор по-різному впливає на конкурентне переваги. Психологічні уподобання різних сегментів відрізняються: для одних підходить лозунг: «Якщо якість однакова, то чому платити більше». Ця група покупців буде приверженцем товарів підприємства, що використовує стратегію низьких витрат. Для інших: «Чим дорожче і незвичайніше, тим це більше підкреслює мою індивідуальність і престиж». На таких сегментах вигідно працювати підприємствам, що використовують стратегію диференціації. Як би не змінювалися умови розвитку суспільства, фактори ціни і новизни, оригінальності будуть по-прежнему важливими. Задачею виробників є всіма засобами оперативного маркетингу доводити до споживачів переваги своєї продукції, на яку б стратегія фірми не опиралася [3, 4].

Психологічний клімат на підприємстві повинен розпорядитися до підвищення продуктивності праці і моральному задоволенню працівників, що повлечет за собою більш ефективну роботу і високі результати. На підприємствах, що використовують стратегію низьких витрат, необхідна жорстка дисципліна і гнучке застосування системи заохочень і штрафів, так як товар повинен бути якісним, робота безперебійною і налаженою. При стратегії диференціації необхідний сприятливий психологічний клімат для можливості творчої роботи, так як саме творчий підхід персоналу до виконання своїх обов'язків є запорукою успіху. Чим більше творчих зусиль і пропозицій буде вкладено в товар, який в результаті буде гідно оцінений споживачами, тим більше підприємству вдасться посилити конкурентне переваги.

Вимоги до конкурентним перевагам в сфері природно-кліматических і географічних факторів також відрізняються в залежності від виду конкурентної стратегії.

Таким чином, вибір визначеної базової конкурентної стратегії накладає певний відбиток на вимоги до використовуваних при її реалізації конкурентним перевагам, а кожній з базових стратегій конкуренції відповідає свій набір володіючих відповідними особливостями конкурентних переваг.

Література

1. Портер М. Конкуренція: Уч. Пос. – М.: Видавничий дім «Вільямс». – 2000. – 495 с.
2. Кныш М. И. Конкурентные стратегии: Учебное пособие. – СПб. 2000. – 284 с.
3. Фатхутдинов Р. А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление. – М.: ИНФРА-М. – 2000. – 312 с.
4. Азоев Г.Л. Челенков А.П Конкурентные преимущества фирмы / Гос. ун-т управления, Нац. фонд подготовки кадров. – М.: ОАО «Тип «НОВОСТИ», 2000. – 256 с.

УДК 657.63

ЕКОНОМІЧНА БЕЗПЕКА АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА В УМОВАХ ПРОТИДІЇ НЕДРУЖНЬОМУ ПОГЛИНАННЮ

Пилипенко А.А., канд. екон. наук
(г. Харків, Україна)

Economical safety of joint-stock company in conditions of counteraction to not friendly occluding.

У сучасних умовах ринкового трансформування економіки України перед національними підприємствами актуалізувалася проблема забезпечення безпеки підприємницьких структур в умовах економічної і суспільно-політичної нестабільності та постала задача внутрішньої самооцінки і прогнозування свого стану з погляду виконання властивих їм виробничо-господарських функцій, вживання заходів захисту цих функцій від різних проявів зовнішнього і внутрішнього походження, що впливають на потенціал підприємства (тобто забезпечення економічної безпеки), створення системи моніторингу індикаторів безпеки, обґрунтування і встановлення їхніх граничних значень, вживання заходів протидії погрозам. Водночас, оскільки акціонерні товариства займають домінуюче положення поміж усіх інших організаційно-правових форм підприємств не тільки в Україні, але й в країнах з розвиненими ринковими відносинами виникає необхідність окремого розгляду особливостей підтримки економічної безпеки у цих товариствах.

Проведений аналіз літературних джерел [2, 5, 7] дозволяє визначити економічну безпеку акціонерного товариства як стан найбільш ефективного використання корпоративних ресурсів для запобігання загрозам і забезпечення стабільного функціонування підприємства в даний час і у майбутньому. Однак досі не вирішеною частиною проблеми управління рівнем економічної безпеки є розгляд у якості загроз спроб недружнього поглинання та розробки відповідних схем протидій, що й постало метою даної статті.

Зливання та поглинання підприємства може мати добровільний (дружній) або примусовий (ворожий) характер. Дружність або ворожість поглинання для акціонерного товариства визначається збереженням прав і дотриманням інтересів основних внутрішніх груп впливу, вищих менеджерів і персоналу у новому товаристві. Таким чином, в процесі управління рівнем економічної безпеки, особливої уваги треба надавати саме спробам недружнього поглинання, які слід розглядати як один з різновидів загроз.

Отже, підтримка належного рівня економічної безпеки передбачає забезпечення захисту від агресивного не-

дружнього поглинання. Для цього потрібно вчасно розпізнати економічного контрагента, який являє собою загрозу для товариства (поглинача) й продумати надійні схеми захисту від його нападу. Основа для цього складає вивчення всіх можливих варіантів поведіння агресора й формування набору стандартних сценаріїв реагування та протидіючих мір.

При цьому необхідно враховувати, що в існуючі в умовах національного ринку методи поглинання значно відрізняються від тих, що розглянуто в іноземній економічній літературі [3, 6]. Це пояснюється насамперед тим, що багато українських акціонерних товариств було створено в результаті приватизації (відповідно, акціонерний капітал було розподілено серед працівників). Більшість керівників цих підприємств виявилися не спроможними працювати в нових економічних умовах. Ці фактори, а також специфіка діючого законодавства й слабкий розвиток національного фондового ринку визначили появу специфічних схем перерозподілу власності, що зараз широко поширені в Україні.

Головна мета всіх схем захоплення складається в одержанні контролю над майном іншого підприємства за суму, що набагато нижче реальної вартості цього майна. Отже однією з завдань механізму підтримки економічної безпеки акціонерного товариства буде максимізація витрат на проведення поглинання.

Розвиток корпоративного управління на Україні обумовив необхідність акумулювання скільки-небудь значимих пакетів акцій в одного або групи зв'язаних між собою власників. При цьому найбільш поширеним методом є проста скупка акцій. Незважаючи на удавану простоту, вона виявилася дуже ефективною й дотепер є розповсюдженим і дієвим методом захоплення акціонерних товариств. Короткострокова операція зі скупки акцій емітента, що нараховує більш тисячі дрібних акціонерів, дуже небезпечна для керівників, які здійснюють оперативне управління підприємством. Загроза економічній безпеці виникає через те, що в результаті скупки контроль за товариством може бути частково або цілком утрачений.

Найбільшу небезпеку в даному випадку представляє можливість зовнішнього контрагента раптово, у дуже стиснутий термін акумулювати кошти, достатні для придбання як мінімум блокуючого пакету акцій визначеного емітента. У переважній більшості випадків це спричиняє появу великої кількості угод із дрібними акціонерами. Водночас найбільшу протидію агресорові роблять механізми саморегулювання ринку, коли початок скупки акцій викликає стрімке зростання цін на них. Як правило перше серйозне підвищення цін відбувається вже після того, як поглиначем придбано більше двох відсотків акцій. Описаний метод досить тривіальний по суті й жадає від виконавців лише наявності належної кваліфікації та фінансових ресурсів.

У даному випадку механізму управління економічною безпекою акціонерного товариству доцільно почати зустрічну скупку акцій. Для цього підприємство – об'єкт поглинання також повинно акумулювати необхідні фінансові ресурси (звичайно для цього використовується оборотний капітал). Виникаючі при цьому труднощі пов'язані з нестачею часу і значним зниженням рівня фінансової стійкості. На практиці навіть двотижневе запізнення менеджерів із залученням у процес скупки акцій власників підприємства призводить до втрати значної кількості акціонерів.

Щоб уникнути подібної ситуації керівництво товариства повинно забезпечити можливість максимально оперативного й точного відслідковування динаміки змін реєстру акціонерів. Можна також завчасно здійснювати консолідацію роздроблених пакетів акцій. У будь-якому випадку, зниження контролю за рухом акціонерного капіталу приводить до підвищення імовірності спроб ворожого поглинання.

Іншим більш ефективним, хоча і більш складним способом протидії є зниження привабливості підприємства для зовнішнього контрагента або мінімізація його ринкової вартості. Прикладом даної схеми може служити поширення акцій нової емісії серед працівників підприємства (на вигідних для них умовах), що вже продали свої старі акції поглиначеві. При здійсненні такої схеми важливо чітко дотримувати чинне законодавство. Іншим прикладом є поділ в процесі реструктуризації підприємства-монополіста на дві організації. Це значно знизить привабливість останніх оскільки знову утворені підприємства не займуть монопольного положення на ринку, а поглинання кожного з них буде менш доцільним для поглинаючої сторони, оскільки вже не дасть контролю над монополією.

Іншим способом недружнього агресивного поглинання буде придбання відповідно до чинного законодавства (насамперед через процедуру банкрутства) прав на визначення стратегії розвитку акціонерного товариства, здійснення оперативного управління, призначення і звільнення вищих менеджерів товариства. Багато в чому ця загроза економічній безпеці обумовлюється недосконалістю законодавчої та нормативно-правової бази проведення банкрутства.

Цей спосіб агресивного поглинання має за головну мету відібрання активів товариства. Для цього до арбітражного суду подається заява про визнання боржника банкрутом та введення на підприємстві тимчасового спостереження. Головною ціллю агресора буде при подачі позову запропонувати судові списку кандидатур для призначення тимчасового керуючого. Вибір здійснюється саме з цього списку, і тільки якщо заявник не запропонував свої кандидатури, суддя призначає тимчасового керуючого з осіб, зареєстрованих в арбітражному суді як арбітражних керуючих. Природно, що нападаюча сторона пропонує кандидатури тимчасових керуючих, вигідних для себе. Загроза ж для рівня безпеки виникає у той час, коли тимчасово призначений керуючий починає переділ власності на користь замовників банкрутства.

Задача механізму управління економічною безпекою полягає у посиленні контролю за описаним процесом. Так, оскільки вплинути на вибір кандидатури тимчасового керуючого не можна, необхідно якомога раніше, до введення на підприємстві тимчасового спостереження, одержати інформацію про позов, щоб мати запас часу для здійснення захисних мір. Сторона, що обороняється, повинна використовувати всі доступні можливості для

своечасного одержання інформації.

Основним способом протидії є порушення процедури банкрутства з ініціативи дружніх для товариства кредиторів або своєчасна реалізація програм фінансової допомоги. Також можлива зміна відображення рівня кредиторської заборгованості в бухгалтерському обліку, коли шляхом застосування вексельних відносин заборгованість відбивається на позабалансових рахунках і не помітна для нападаючої сторони.

Досить ефективним методом протидії є створення рівноважного холдингу. Дана схема захисту припускає виділення найбільш активної частини майна підприємства й розподіл її між дочірніми компаніями зі сто відсотковою участю материнської компанії в управлінні ними. Основна задача дочірніх підприємств зводиться до володіння майном. Надалі проводиться емісія акцій у дочірніх підприємствах з взаємним їхнім перерозподілом. У результаті таких дій частка материнської компанії в статутному капіталі стає меншою за блокуючий пакета, а дочірні компанії володіють контрольними пакетами акцій один одного. Для забезпечення ефективного управління дочірніми підприємствами формується холдингова структура й виділяється керуюча компанія, яка виконує функції виконавчого органа у кожному з дочірніх підприємств. Дана схема реструктуризації активів акціонерного товариства дозволяє в достатньому ступені протистояти погрозам економічної безпеки при спробі зовнішнього поглинання. Успішність її реалізації залежить тільки від кваліфікації виконавців.

Література

1. Аистова М.Д. Реструктуризация предприятий: вопросы управления. Стратегии, координация структурных параметров, снижение сопротивления преобразованиям. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 287 с.
2. Козаченко Г.В., Пономарьов В.П., Ляшенко О.М. Економічна безпека підприємства: сутність та механізм забезпечення: Монографія. – К.: Лібра, 2003. – 280 с.
3. Корпоративное управление. М.: Джон Файли энд Санз. – 1995. – 240 с.
4. Круглов М.И. Стратегическое управление компанией. Учебник для ВУЗов. – М.: Русская деловая литература, 1998. - 768с.
5. Мунтіян В.І. Економічна безпека України. – Київ: КВІУ, 1999. – 464 с.
6. Семь нот менеджмента. - Издание третье, дополненное. - М.: ЗАО "Журнал Эксперт", 1998. - 424с.
7. Шлыков В.В. Комплексное обеспечение экономической безопасности предприятия. – СПб, 1999. – 138 с.

УДК 658.032.12

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ АКЦИОНЕРНЫХ ОБЩЕСТВ В УСЛОВИИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ОТНОШЕНИЙ В УКРАИНЕ

Филипович Т.Г.

(г. Харьков, Украина)

This article contains the main peculiarities of native joint-stock companies' management: development of managers' functions; different members' interests of economic relations; inappropriate former methods of management; origin of contemporary problems and other. Complex of measure connected with a strategy creation of corporations' development is provided.

На современном этапе преобразований экономики Украины проблема развития корпоративных отношений и формирование эффективной модели корпоративного управления является одной из наиболее актуальных. Это связано, в первую очередь, со спецификой формирования акционерного капитала в акционерных обществах (АО) Украины, которая состоит в том, что большее число корпораций создано, в основном, не классическим путем объединения капиталов, а путем распределения уставных фондов государственных предприятий в ходе приватизации.

Доминирование корпоративного сектора в структуре национальной экономики обусловлено стремительным развитием приватизационных процессов, происходивших в Украине в течение последних лет. В ходе приватизационного процесса и на началах самоорганизации в Украине создано свыше 38 тыс. АО, участниками которых являются почти 19 млн. акционеров [1]. Однако, в связи с тем, что большее распространение получила сертификатная, т.е. бесплатная приватизация, предприятия не получили реальных инвестиций, что явилось существенным препятствием для дальнейшего развития уже с самого момента своего возникновения. В результате, необходимая для большинства АО концентрация инвестиционных ресурсов за счет вложений акционеров так и не произошла. Следствием такого возникновения большинства корпораций акционеры, как собственники АО, в структуре управления не были четко обозначены, что не отвечает условиям корпоративных отношений. Это в свою очередь, прямо отразилось на управленческой деятельности высшего руководства АО, которая не учитывала либо учитывала в небольшой степени интересы акционеров.

К интересам акционеров относятся получение дивидендов, а также рост стоимости акций, в то время как основными интересами высшего руководства являются получение оптимального вознаграждения за свою деятельность с минимизацией при этом степени рисков. В условиях огромной распыленности акционерного капитала, мелкие акционеры физически не могут повлиять на поведение руководства АО, которое не получив реальных денег в предприятия не чувствуют себя обязанными выплачивать вознаграждение за пользование чужим капиталом и не ставит своей целью повышение стоимости предприятий.

Другим способом формирования капитала АО в результате приватизации являлась продажа акций акционерам-инсайдером, в ходе чего были созданы ЗАО. Особенностью такого распределения акций являлось то, что контрольные

пакеты перешли к руководству предприятий, в то время как оставшаяся доля акций была распределена между многими владельцами незначительных пакетов акций (миноритарными акционерами). При таком распределении, директорат имел возможность для формирования уставного фонда в выгодных для себя пропорциях. В дальнейшем это привело к тому, что управленческая деятельность высшего руководства преимущественно была направлена на достижение своих целей и противоречила общим целям корпорации, а также интересам отдельных групп участников корпоративных отношений. Решение данной проблемы представляется путем формирования независимого эффективного контролирующего органа. Как показывает практика, наблюдательный совет на многих АО Украины является лишь формальным органом.

Еще одним негативным следствием приватизации является то, что акционеры не участвовали в назначении руководителей, поскольку управленческие контракты заключали государственные органы приватизации. В связи с переходом к рыночной экономике и с изменением условий внешней среды далеко не все руководители предприятий смогли адекватно и своевременно отреагировать на влияние этих факторов и предотвратить большую массу негативных последствий, которые в настоящее время присущи отечественным корпорациям. В этой связи актуальность приобретает проблема повышения квалификации высшего руководства, что обусловлено тем, что уровень образования и знаний руководителей этого звена на сегодняшний день в среднем ниже требуемого уровня.

В целом, смена формы собственности повлекла за собой определенные изменения условий осуществления деятельности корпораций, а следовательно и изменения в системе управления. В основном, рычаги управления, которые использовались при управлении государственным предприятием, не могут быть применимыми в настоящее время, поскольку не отражают сложности взаимосвязи всех участников корпоративных отношений. Если раньше предприятия должны были строго выполнять распоряжения единственного собственника – государства и действовать по строго установленному плану, то в настоящее время АО предоставлена полная свобода в выборе деятельности, принятии управленческих решений, выборе тактики поведения и др. Одновременно с этим заметно различаются понятия ответственности. Руководители государственных предприятий были ответственны за выполнение строго обозначенных действий. Обязанности современных руководителей состоят в обеспечении условий для получения прибыли, создании стабильной внутренней среды предприятия, своевременной выплате налогов и сборов, осуществлении деятельности в рамках законодательства. Кроме данных обязанностей, у современных руководителей существует ряд других важных задач, таких как: исследование рынка определенного вида продукции (услуг); обеспечение предприятия необходимыми материальными, энергетическими, трудовыми, финансовыми и др. ресурсами для осуществления определенного вида деятельности; поиск предприятий-поставщиков, потребителей, завоевание внешнего рынка и др.

Ранее перечисленные причины искажения развития корпоративных отношений привели к следующим последствиям:

отсутствие необходимого объема реальных инвестиций и эффективного собственника;

несоблюдение интересов акционеров;

возникновение препятствий со стороны государства;

низкий организационный и методический уровень стратегического планирования и менеджмента в отечественных АО.

Наиболее оптимальным способом решения проблемы финансового характера, представляется дополнительная эмиссия акций, т.е. привлечение инвесторов, либо смена собственника корпорации. Для реализации данных мероприятий может быть привлечен либо отечественный капитал, либо иностранный. Оба варианта имеют свои особенности и трудности привлечения.

Характерной особенностью функционирования большинства отечественных предприятий является низкая конкурентоспособность, что вызывает недоверие со стороны потенциальных инвесторов – жителей Украины (наиболее доступного источника привлечения недорогих инвестиций) и других потенциальных участников корпоративных отношений. По этой же причине возникает осторожность со стороны иностранных инвесторов, что находит отражение в согласии последних на сотрудничество только при условии доминирования их интересов.

С точки зрения национального благосостояния и более стабильного развития, наиболее оптимальным способом формирования капитала корпораций представляется наращивание акционерного капитала путем привлечения инвесторов внутри страны. Однако в этом случае наибольшим препятствием являются недоверие и разочарованность потенциальных участников корпоративных отношений (в первую очередь, населения) в результатах хозяйствования отечественных корпораций. Этот моральный фактор является существенным препятствием для отечественных АО в применении наиболее простого и наименее рискованного способа привлечения инвестиций. Для решения данной проблемы общими условиями являются стабильная деятельность и устойчивость корпорации, эффективность результатов хозяйствования и стабильные корпоративные отношения, что возможно только за счет высокопрофессиональной работы, коренной реорганизации системы внутрифирменного управления с учетом новых рыночных ориентиров, своевременно избранной правильной стратегии корпоративного менеджмента.

После изменения формы собственности и получения полной самостоятельности в сфере выбора приоритетов и методов хозяйствования многие предприятия оказались в жестких условиях, к которым не были морально готовы. В таких условиях особую важность приобретают такие формы корпоративного развития, как кооперация и сотрудничество. Нахождение новаторских путей кооперирования и сотрудничества значительно увеличивают шансы не только выдержать острую конкуренцию, но и укрепиться на том либо ином рынке. Как свидетельствует зарубежный опыт, сотрудничество, кооперация, выполнение субподрядных заказов по поручению авторитетных фирм являются одной из наиболее прогрессивных форм взаимоотношений партнеров в современном мировом бизнесе. Успешное развитие горизонтальных связей между отечественными корпорациями дает возможность для них укрепиться на внутреннем рынке, стабилизировать свою деятельность, улучшить многие качественные характеристики продукции, создать осно-

ву для дальнейшего развития и совершенствования своей деятельности и, следовательно, способствует выходу на международный рынок. Кроме того, необходимо отметить, что значительное влияние оказывают качественные характеристики связей, которые, с точки зрения Г. Скударь [2], создают новый уровень конкурентоспособности предприятия.

Как подчеркивает Ю.Б. Иванов [3], в современных исследованиях при определении конкурентоспособности предприятия во главу угла чаще всего ставится конкурентоспособность товара. Действительно, если предприятие ставит своей целью завоевание и укрепление своих конкурентных позиций на конкретном рынке, то в ее основе должна лежать конкурентоспособность продукции (услуг). В противном случае – если корпорация ставит первоочередной целью получение прибыли путем использования других инструментов (например, маркетинговых), обладая при этом невысокой конкурентоспособностью товара, предприятие в ближайшем будущем потеряет свою значимость, в качестве преуспевающего хозяйствующего субъекта. Для повышения конкурентоспособности и стабильной деятельности корпорации необходимы комплексная и точная оценка имеющего потенциала, выбор соответствующей конкурентной стратегии развития. При формировании конкурентной стратегии необходимо акцентировать внимание на качестве товара, многономенклатурном производстве диверсифицированного типа, соответствии качества товара требованиям международных стандартов.

Ориентация деятельности корпорации на рынок потребителя, а не на выполнение планов требует коренной реорганизации традиционных схем внутрифирменного управления, активного внедрения в хозяйственную практику принципов и методов современного стратегического менеджмента, проведения фундаментальных структурных и системных изменений в организационно-управленческом обеспечении производства. Особое значение играет стремление всего трудового коллектива к достижению единой цели корпорации, его заинтересованность и участие в совместной деятельности.

Вышеперечисленные, а также многие другие факторы и условия формируют конкурентоспособность корпораций, благодаря которой значительно увеличиваются шансы разного рода сотрудничества, в частности финансового. Высокий потенциал корпораций, эффективное внутрифирменное управление, уникальность производимого товара будут способствовать повышению спроса на участие в собственности корпорации среди разных категорий участников.

Важным моментом в формировании стратегии развития корпоративных отношений является система корпоративного управления, которая в результате массовой корпоратизации и приватизации в Украине приобрела смешанный характер, т.е. одновременное совмещение признаков инсайдерского и аутсайдерского типов. С учетом специфических проблем отечественных корпораций и характером сложившейся ситуации в Украине, выбор той или иной системы корпоративного управления с точки зрения оптимальности является сложной задачей. Формирование той либо иной системы корпоративного управления прямо зависит от степени сходства организационных структур большинства АО, в частности Украины. В свою очередь формирование организационной структуры корпорации зависит от следующих факторов:

- миссии корпорации;
- доминирующей группы инвесторов, претендующих на участие в структуре акционерного капитала;
- изначального положения корпорации, т.е. эффективности осуществления им хозяйственной деятельности;
- характера целей групп участников, преимущественно существующего руководства и потенциальных акционеров;
- значимости корпорации на внутреннем и внешнем рынке, а также его потенциальных возможностей.

С точки зрения автора, в условиях Украины наиболее оптимальной будет являться та система корпоративного управления, которая будет обладать следующими характеристиками:

- простотой привлечения акционерного капитала;
- предоставлением выбора миссии корпорации всем участникам корпоративных отношений, а также совместное участие в принятии стратегических решений;
- четким разграничением функций текущего управления и контроля между различными группами участников корпоративных отношений;
- предоставлением функций текущего управления высшему руководству - высококвалифицированным руководителям;
- регулярной выплатой дивидендов миноритарным акционерам.

Относительная легкость в привлечении акционерного капитала представляется путем эмиссий акций и вовлечением в структуру корпоративной собственности частных и институциональных инвесторов. Во-первых, такая структура капитала предоставит руководителям корпорации большую свободу в принятии управленческих решений, но при этом возникает необходимость в создании эффективного и независимого контролирующего органа, деятельность которого будет осуществляться параллельно с деятельностью высшего руководства. Необходимо подчеркнуть, что обязательным (но не единственным) условием, без которого невозможно получение желаемых результатов от деятельности корпорации в долгосрочной перспективе является высоко-квалифицированный состав менеджеров, обладающих совокупностью специальных знаний и практических навыков. Во-вторых, участие частных инвесторов (речь идет о физических лицах, в том числе работниках корпорации) в формировании акционерного капитала увеличит их непосредственную заинтересованность в результатах деятельности корпорации, вернет доверие и улучшит их материальное состояние. Однако такой результат возможен лишь при совместном и согласованном сотрудничестве всех участников корпоративных отношений.

Представляется, что аутсайдерская модель корпоративного управления способна наиболее точно отразить вышеуказанные условия, тем более что при инсайдерской системе вопрос привлечения акционерного капитала вызывает существенные сложности.

УДК 658.016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ**Писарчук О.В.***(г. Харьков, Украина)**Definition of the purposes of control of development of firm.*

Особенности системы управления предприятием на современном этапе тесно связаны с изменением ориентиров их деятельности. Основными экономическими целями предприятия в рыночных условиях являются повышение эффективности производства, максимизация прибыли, завоевание новых рынков и удовлетворение потребностей коллектива. Вместе с тем возрастает влияние фактора хозяйственного риска, появляются преимущества свободного ценообразования, возможности самостоятельного выбора поставщиков и потребителей, при этом, вся ответственность за деятельность и ее результаты ложится на предприятия.

Реформирование предприятия является первым шагом процесса его развития. На этом этапе формируется и создается база для устойчивой деятельности предприятия, а процесс продвижения к намеченным целям должен быть обеспечен минимальным уровнем ресурсов.

Развитие предприятия, прежде всего, должно быть направлено на стабильное достижение тех целей, которые ставятся собственниками, – рентабельности предприятия и его устойчивости. Кроме того, для мобилизации коллектива предприятия на выполнение задач развития необходимо учитывать цели работников. Устойчивость входит в число таких целей, однако, зачастую совпадение целей собственников и коллектива на этом и ограничивается. Возникающие противоречия между группами целей необходимо предвидеть, погашать и регулировать.

Развитие предприятия – это процесс, осуществляемый постоянно, и по мере его реализации горизонт, к которому стремится предприятие, все более отодвигается, ставятся новые долгосрочные и краткосрочные цели. При этом, собственники и работники должны удовлетворять свои интересы на каждом этапе развития, непрерывно двигаясь в сторону более полного и лучшего их удовлетворения.

Особенностью процесса развития предприятия является то, что требования предъявляются не только к конечному результату этого процесса, но и ко всему его ходу. В этом отличие развития от реализации краткосрочных планов и проектов, например, отдельных инвестиционных проектов или программ вывода предприятия из кризисного состояния, которые могут составить содержание лишь отдельных этапов процесса развития.

Указанные цели должны достигаться не в результате процесса развития, а постоянно в процессе развития. Развитие должно осуществляться таким образом, чтобы все изменения, происходящие на предприятии, в его технологическом комплексе, производственной, инновационной и организационно-управленческой деятельности позволили бы сохранить и улучшить рентабельность и стабильность деятельности в динамичных рыночных условиях, а также удержать иные показатели деятельности, соответствующие интересам собственников, на соответствующем уровне.

Стратегия определяет структуру, цель определяет стратегию, а первопричина, порождающая саму цель заложена в психологии руководителя, его прошлом опыте, в обществе, в экономике. Аксиома Леца гласит: «жизнь принуждает человека ко многим добровольным действиям». Действительно, выбирать определенные цели нас заставляет жизненная ситуация, многофакторная и непредсказуемая, вечно меняющаяся и требующая изменений. Таким образом, решается два вопроса: почему надо производить изменения, и какой результат мы хотим от них получить. Изменения в фирмах происходят по нескольким основным причинам.

Изменения инициируются рынком. Рыночные требования выступают явной причиной 80% изменений и скрыто присутствуют в остальных случаях. Ярким примером может послужить ситуация экономического кризиса, в которой большинство предприятий просто вынуждено измениться.

Меняются интересы владельцев. Происходит раздел сфер бизнеса, персонала, создается конкурирующая фирма, целенаправленно обрабатывающая рынок родительской структуры, иногда разделяются финансы. Все это заставляет предприятие пересматривать цели. Также могут меняться интересы единственного владельца

Фирма расширяется слиянием или приобретением действующего бизнеса. Разница в организации, традициях и культуре столь существенна, что обычно вырастает в проблему, требующую кардинальных решений. На предприятии накапливаются внутренние противоречия. В силу различных причин в организациях могут развиваться конфликты, приводящие даже без изменений рыночной среды к снижению производительности и потере конкурентных преимуществ.

Непосредственное планирование развития предприятия также ведет к изменениям.

В процессе исторического развития управленческой мысли, сформировался ряд общепризнанных организационно-управленческих теорий. Каждая из которых, в концепции развития предприятия, формулирует приоритетные цели и направления развития, а также дает оценку эффективности деятельности предприятия. На современном этапе все большую актуальность приобретает концепция «сохранение через развитие»

Можно выделить следующие направления целей управления развитием предприятия.

1) Развитие организационных характеристик:

- совершенствование структуры управления, повышение гибкости, реорганизация, реструктуризация;
- создание организации, перевернутой вершиной вниз;
- децентрализация управления, делегирование ответственности
- создание инновационной структуры
- результатная департаментизация, формирование дивизиональных организаций с выделением независимых подразделений;

- образование межфункциональных команд, использование горизонтальных связей, информационных технологий
 - создание альянсов, партнерств, виртуальной организации.
- 2) Снижение операционных издержек:
- инновационная деятельность;
 - совершенствование продукции, технологии, методов работы, учета и контроля;
 - повышение качества;
 - создание новой модели бизнеса, основанной на распределении работ, функций и передачи их внешним исполнителям.
- 3) Устранение антагонистических противоречий, социальное развитие организации:
- создание единого статуса для всех работников;
 - социальное партнерство, пропаганда прямой связи между интересами работника и фирмы, установление тождественности интересов собственника и наемного работника;
 - равенство в возможностях продвижения по карьерной лестнице
 - забота о нуждах работников, социальные мероприятия, направленные на материальную и нематериальную мотивацию;
 - повышение профессионализма работников.
- 4) Сближение коалиционных целей:
- создание индивидуалистической организации;
 - развитие и обучение персонала;
 - развитие сотрудничества, создание единого корпоративного духа, делегирование ответственности;
 - развитие системы мотивации, развитие самомотивации, создание новой системы ценностей.
- 5) Развитие социального партнерства:
- укрепление добропорядочного имиджа;
 - создание благоприятной социальной среды;
 - улучшение экологической обстановки.
- 6) Развитие внешних хозяйственных связей:
- вертикальная интеграция, развитие связей с поставщиками;
 - развитие связей с потребителями;
 - развитие каналов распределения;
 - расширение рынка, региональная экспансия в результате организации стратегического партнерства (интеграции, диверсификации)
 - развитие научного партнерства

Процесс управления развитием предприятия, его структура, цели, методы и средства в значительной мере будут зависеть от стадии жизненного цикла предприятия и его экономического потенциала. Выбранная цель, увязывается с существующей ситуацией, и, зачастую, достигается, потому что побочное влияние изменений на другие аспекты деятельности предприятия в данном случае не учитывается. Процесс выбора целей не может быть свободным, предыдущий опыт и образование ограничивают больше, чем мы это представляем, и зачастую, выбор происходит автоматически, в рабочем режиме. Повседневные решения позволяют управлять ситуацией с использованием различных подходов к управлению развитием. Управление развитием предприятия может быть реализовано в рамках двух различных подходов: проектно-планового или программного.

Основой проектно-планового подхода является цель, устанавливаемая как проект желаемого состояния предприятия на долгосрочную перспективу. Эта цель может предполагать повышение конкурентоспособности и захват большей доли рынка, переход на другие сегменты рынка, или другие качественные изменения деятельности предприятия, обеспечивающие большую рентабельность или устойчивость. При этом предполагается, что характеристики внешней и внутренней среды предприятия могут быть спрогнозированы на весь долгосрочный период и, в соответствии с этим прогнозом, можно определить цель развития.

Программный подход исходит не из конечной цели, а из проблем и возможностей их разрешения, существующих на начальный момент развития. При проектном подходе исходят из должного, того, что должно быть, а при программном – из реального, того, что есть, и выбирают такие изменения, чтобы трансформировать реальное в желаемое. Конкретные цели, механизмы их достижения и мероприятия программы определяются поэтапно в ходе реализации программы, при этом цель каждого этапа определяется непосредственно перед осуществлением данного этапа на основе анализа текущей ситуации и результатов предыдущего этапа. Заранее определяются лишь концепция и стратегия программы как основания для целеполагания.

УДК 339.138

СУЩНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ МАРКЕТИНГОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ткаченко А.В.

(г. Харьков, Украина)

Essence and contents of marketing control of foreign trade activities of firm.

Современные трансформационные условия рыночной экономики Украины характеризуются необходимо-

стью распространения деятельности промышленных предприятий на географические территории, выходящие за рамки национальных границ, что ставит предприятия в сложные условия, связанные с ведением хозяйственной деятельности в разных странах мира. При этом возникают разнообразные и многогранные проблемы, обусловленные наличием локальных особенностей различных стран. В то же время, в результате международной кооперации производства, развития международного разделения труда, внешней торговли и международных экономических отношений в целом происходит усиление взаимосвязи и взаимозависимости национальных экономик. Все это предопределяет необходимость формирования адекватных подходов к разработке стратегий внешнеэкономической деятельности предприятия, одним из которых является применение комплекса маркетинга.

В основе теорий маркетингового управления внешнеэкономической деятельностью находятся такие понятия как глобализация, интернационализация и интеграция. Это многоуровневые явления, затрагивающие региональную и национальную экономику (макроуровень); товарные, финансовые и валютные рынки, рынки труда (мезоуровень); отдельные предприятия (микроуровень). На микроэкономическом уровне они проявляются в расширении деятельности предприятий за пределы внутреннего рынка. При разработке маркетинговой стратегии большинству крупнейших предприятий приходится планировать действия в глобальных масштабах, когда их рынком становится любой район с высоким уровнем потребления. Они должны быть способны удовлетворять спрос потребителей везде, независимо от границ и национальной принадлежности. Стратегическое планирование при этом должно основываться на глобальных категориях покупателей, технологий, издержек, поставок, стратегических альянсов и конкурентов. Различные звенья и стадии проектирования, производства и сбыта продукции размещаются в разных странах, унифицируясь в международном масштабе.

Интернационализация – это явление в маркетинге, возникающее вследствие взаимозависимости рынков, как результат глобализации. При этом рынки уже не воспринимаются как отдельные единицы, а рассматриваются в большей степени как единый рынок. Международный маркетинг, в этом случае направляет развития предприятия по следующей схеме: предварительное изучение рынков стран, которые могут представлять интерес; выбор наиболее благоприятного региона или страны; определение способа присутствия предприятия на этом рынке; определение коммерческого предложения в разрезе товаров, услуг и цен, приспособленных как к благоприятным, так и неблагоприятным вариантам рынка; определение коммерческой политики, политики сбыта, коммуникаций и подбор торгового персонала. Поэтому освоение нового рынка каждый раз представляет собой компромисс между использованием решений, уже испытанных на других рынках, и необходимым уровнем адаптации.

Одним из основных элементов интернационализации и международного разделения труда являются отдельные субъекты хозяйствования, их внешнеэкономическая деятельность (ВЭД) и внешнеэкономические связи (ВЭС). Немаловажную роль при этом играет и "внешняя торговля" (ВТ) – исходная и наиболее простая экономическая форма товарного обмена между странами, на основе которой в последующем формировалась концепция международного маркетинга. Первоначально внешняя торговля выступала как основная форма товарного обмена. Но по мере углубления интернационализации хозяйственной жизни и перехода от обмена продуктами труда и услугами в форме купли-продажи товаров к широкой международной научно-технической и производственной кооперации роль ВТ как одной из экономических форм товарного обмена с зарубежными странами падает при возрастании значимости других форм сотрудничества. При этом международный маркетинг предполагает систематическую, планомерную и активную обработку международных рынков на различных ступенях продвижения товаров к покупателю, что требует более детального рассмотрения понятий ВЭД и ВЭС.

В большинстве случаев эти понятия отождествляются. Они рассматриваются как совокупность различных видов экономической деятельности либо как разновидность внешнеэкономических операций. Их тесная взаимосвязь является основой международных экономических отношений, так как ВЭД и ВЭС охватывают отношения не в пределах политически замкнутых территорий, а между разными странами. Реализация же ВЭС осуществляется через разновидности внешнеэкономических операций, в основе которых находятся операции, связанные с внешней торговлей (торговля готовой продукцией, торговля продукцией в разобранном виде, встречная торговля, торговля комплектным оборудованием, торговля услугами и кооперация). Т.е. в составе ВЭД можно выделить две основные составляющие, которые необходимо учитывать в процессе разработки маркетинговой стратегии. Это деятельность по установлению, поддержанию и развитию внешнеэкономических связей, обеспечивающая международное сотрудничество, и производственная деятельность каждого предприятия, отражающая международное разделение труда.

Таким образом, нам представляется теоретически верным рассматривать категорию ВЭД предприятия как совокупность взаимосвязанных внешнеэкономических операций в сфере производственно-хозяйственной деятельности, осуществляемых предприятием в соответствии с целями и задачами его социально-экономического функционирования и развития. Взаимосвязи внешнеэкономических элементов (операции и инструменты, которые использует предприятие в ходе ВЭД), их множественность, конкретные сочетания, функционирование, комплекс целей предприятия, выходящего на внешний рынок будут составлять основу для выбора и разработки маркетинговой стратегии внешнеэкономической деятельности.

ВЭС при этом будут предопределять направления и формы выхода предприятия на внешний рынок в соответствии с целями и задачами его маркетинговой внешнеэкономической стратегии. Международные хозяйственные, научные и торгово-политические отношения, в сферу которых входят все виды сотрудничества, осуществляемые совместно партнерами в соответствии с их ориентацией на единый конечный результат, состав-

ляют содержательную часть данной категории.

Таким образом, ВЭС предприятия формируются в условиях развития его ВЭД и элементов внешней среды, воздействующих на ВЭД. При этом ВЭС, основу которых составляет внешнеэкономическая деятельность первичных хозяйствующих звеньев, становятся все более важным фактором экономической стабилизации. Эффективность функционирования внешнеэкономического комплекса, устойчивость процесса и форм осуществления внешнеэкономических связей, международных экономических отношений и международного предпринимательства во многом зависит от инструментария, используемого в маркетинговой деятельности, когда последний становится основой организации международного обмена.

Расширение внешнеэкономической деятельности предприятия, разработка его маркетинговой стратегии развития на внешних рынках тесно взаимосвязано с необходимостью определения роли и места маркетинга в международной деятельности. С нашей точки зрения недостаточно определять международный маркетинг как маркетинг товаров и услуг, осуществляемый предприятием вне национальных границ или как маркетинг международных фирм, сфера производственной и коммерческой деятельности которых распространяется на зарубежные страны. Недостаточно корректно и утверждение, что внутренний маркетинг вовлекает в себя деятельность внутри своей страны, тогда как международный маркетинг вовлекает в себя различные виды деятельности за рубежом.

По нашему мнению, международный маркетинг необходимо рассматривать как интегрированную функцию, осуществление которой направлено на интенсификацию процесса формирования и воспроизводства спроса на товары и услуги, увеличение прибыли в международной предпринимательской деятельности. В этой связи его можно определить как философию и инструментарий международной предпринимательской деятельности, как процесс разработки и принятия решений в сфере взаимодействия интернациональных предприятий, которые вовлечены в процесс международного обмена товарами или услугами. Международный маркетинг может характеризоваться двусторонним действием, когда предприятие, освоившее рынок своей страны, выходит на рынок другого государства.

Дальнейшее развитие и углубление международного маркетинга видится в выделении глобального маркетинга, который используется глобальными организациями, пытающимися вести свою производственно-сбытовую деятельность, рассматривая весь мир как один большой рынок, на котором его региональные или национальные отличия не играют решающей роли. В связи с этим возможно рассмотрение в качестве стратегической цели преобразование предприятия в глобальную организацию, которая действует более чем в одной стране, трансформируя получаемые ею преимущества в области исследований и разработок, производства, финансов, маркетинга в более низкие издержки и более высокую свою репутацию, что недоступно конкурентам, действующим только на внутреннем рынке.

Такая организация рассматривает мир как единый глобальный рынок. Руководство и сотрудники глобальных организаций размещают производственные мощности в различных странах, создают всемирные логистические системы и финансовые потоки, осуществляют глобальный маркетинг. Персонал обучен осуществлять деятельность мирового масштаба, а не только в своей стране или в международном плане. Руководство глобальных организаций нанимает персонал по всему миру, покупает комплектующие и все необходимое для производства там, где они дешевле, инвестирует в те страны, где отдача на капитал является наивысшей.

Основные формы и методы практического применения маркетинга на предприятиях, могут в равной степени быть использованы в маркетинге как внутри страны, так и на внешних рынках. Независимо от сферы деятельности и географического охвата рынков предприятия используют одни и те же методы исследования спроса, предложения, деятельности конкурентов, строят производственно-сбытовую деятельность на основе одних и тех же стратегических альтернатив. Вместе с тем, осуществление политики маркетинга во внешнеэкономической деятельности предприятия имеет ряд отличительных черт, обусловленных спецификой рынков отдельных стран. Каждый этап маркетинговой деятельности на мировом рынке требует учета не только социально-экономических, психологических, но и национально-исторических параметров спроса.

Международный маркетинг имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при разработке стратегии внешнеэкономической деятельности. Первая особенность определяется тем, что внешние рынки предъявляют более высокие требования к предлагаемым на них товарам, их сервису и рекламе. Это объясняется возрастанием уровня конкуренции и заметным превышением спроса над предложением. Кроме того, уже на стадии проектирования товара необходимо принять во внимание проблему приспособления (адаптации) параметров продукции к условиям ее потребления в той или иной стране.

Основой экспортной маркетинговой деятельности является изучение внешних рынков, их потенциальных возможностей. В то же время этот процесс более сложен и трудоемок, чем изучение внутреннего рынка, что обуславливает необходимость создания предприятиями-экспортерами соответствующих исследовательских подразделений, использование услуг специализированных фирм-консультантов, предоставляющих информацию о товарных рынках различных стран.

Международный маркетинг отличает от внутреннего и то, что для каждой страны необходимо выделять внешнюю и внутреннюю окружающую обстановку. Также, эффективное функционирование на внешнем рынке требует более гибкого использования маркетинговых методов с учетом конъюнктуры и прогнозов развития рынков, сложившейся там практики хозяйственной деятельности, характера экспортируемых товаров и т. д.

Международный маркетинг играет решающую роль при разработке концепции интернационализации хозяйственной деятельности и обоснования целевых позиций управления активностью предприятия на мировом

рынке, что тесно связано с определением и достижением стратегических целей предприятия во внешнеэкономической среде. В этой связи предлагается определить стратегический международный маркетинг как поиск на международном рынке неудовлетворенных потребностей и разработку адаптированного к ним продукта. При этом стратегический международный маркетинг, как рыночная система управления внешнеэкономической деятельностью предприятия, ориентирует систему управления на долгосрочную конкурентную борьбу за потребителя.

Таким образом международный маркетинг и общественные отношения которые он обозначает, можно рассматривать как органическое объединение на понятийном и практическом уровнях соответственно комплекса рычагов интернационального управления, а также как обобщенное восприятие особенностей современного этапа развития рыночных механизмов. При этом, главной целью международного стратегического маркетинга является определение особенностей долгосрочных тенденций развития международной маркетинговой среды, в которой действует предприятие, создание на этой основе и поддержка собственных конкурентных преимуществ.

УДК 658.032.12

ІНФРАСТРУКТУРА ФОНДОВОГО РИНКУ ТА ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Загрива Ю.О.

(м. Харків, Україна)

Infrastructure of the stock market and formation of a system of corporate control.

Фінансовий ринок є сукупністю економічних відносин з купівлі-продажу фінансових активів під впливом попиту та пропозиції на позичковий капітал, рух якого здійснюється в цінних паперах. Стан корпоративних відносин великою мірою залежить від рівня розвитку фінансового ринку та, навпаки, економічне становище та фінансові результати діяльності корпорацій обумовлюють активність здійснення операцій інвесторів та фінансовими посередників на фінансовому ринку.

Основними складовими фінансового ринку є ринки фінансових та матеріальних активів, строкових зобов'язань, грошей, заставних, споживчого кредитування та цінних паперів (фондовий ринок або ринок капіталів). Найбільшого впливу на розвиток корпоративних відносин надає саме фондовий ринок, на якому відбувається обіг довгострокових кредитних зобов'язань та часток капіталу акціонерних товариств. За допомогою здійснення операцій на фондовому ринку в економіці забезпечується раціональне використання вільних коштів інвесторів та відбувається задоволення потреб корпорацій та інших суб'єктів господарювання в інвестиційних ресурсах.

Інституціональна роль фондового ринку у корпоративній сфері складається також у здійсненні функцій, які не є властивими для інших складових фінансового ринку, а саме:

стимулювання розвитку корпоративних відносин через сприяння здійсненню ринкових операцій засновництва та перейняття корпоративного контролю в акціонерних товариствах;

створення широких можливостей для економії витрат обігу акціонерних товариств через використання короткострокових цінних паперів, що характеризуються високим рівнем ліквідності та стабільною ринковою вартістю.

Засновництво акціонерного товариства складається у розміщенні на фондовому ринку акцій як пайових цінних паперів, що підтверджують права володіння часткою акціонерного капіталу АТ. Засновництво корпорації надає можливості для формування початкового капіталу корпорації.

Операції перейняття корпоративного контролю шляхом здійснення угод зливання-поглинання корпорацій, перехресного володіння акціями та реалізації інших форм утворення інтеграційних об'єднань створюють передумови для забезпечення тісного і вигідного ділового співробітництва учасників корпоративних відносин, ефективного перерозподілу прав власності, удосконалення корпоративного управління загалом.

Поширення використання короткострокових цінних паперів (короткострокових боргових зобов'язань) акціонерних товариств, оберт яких відбувається на фондовому ринку, дозволяє досягти скорочення тривалості обігового циклу і зменшити потреби корпорацій у фінансових ресурсах, та, як наслідок, в необхідних обсягах боргового фінансування та утворення резервних фондів.

Проте використання можливостей, які надаються фондовим ринком для удосконалення корпоративних відносин та підвищення ефективності використання корпоративної форми підприємницької діяльності, значною мірою залежить від рівня розвитку інституціональної інфраструктури цього ринку.

Інституціональна інфраструктура ринку цінних паперів складається з чотирьох основних груп інститутів: регулятивних, функціональних, технологічних та інформаційних.

Регулятивна інфраструктура ринку цінних паперів - це система регулювання ринку цінних паперів, до складу якої належить упорядкована сукупність правил поведінки учасників ринку, форм і методів підпорядкування дій учасників ринкових відносин до цих правил, а також низка інституціональних структур, відповідальних за виконання регулятивної функції. Метою функціонування системи регулювання фондового ринку насампе-

ред є забезпечення сталості його розвитку та збільшення ефективності операцій з цінними паперами через зростання ліквідності і зниження підприємницьких ризиків.

За існуючу в Україні систему корпоративного управління виконання регулюючої функції на ринку цінних паперів розділено між державними органами та організаціями учасників ринку, які здійснюють саморегулювання, тобто добровільними об'єднаннями суб'єктів ринку. Держава (в особі Президента України, Верховної Ради, Кабінету Міністрів, Державної комісії з цінних паперів та фондового ринку) надає регулюючого впливу на ринок цінних паперів за допомогою законів і нормативних актів, обов'язкового ліцензування учасників ринку та реєстрації всіх цінних паперів, емісія яких здійснюється акціонерними товариствами.

До складу об'єднань, які здійснюють саморегулювання, входять асоціації учасників ринку, фондові біржі, позабіржові торгові системи, що виконують певні регулюючі функції відносно своїх членів: встановлюють правила їх взаємовідносин та забезпечують контроль за виконанням цих правил. До найбільш впливових з десяти існуючих вітчизняних саморегулювальних організацій (СРО) слід віднести Професійну асоціацію реєстраторів та депозитаріїв (до складу цієї СРО у 2001 році входив 261 член), Асоціацію "Перша фондова торговельна система" (195 членів), Київську Міжнародну фондову біржу (168 членів), Асоціацію "Південноукраїнська фондова торговельна система" (153 члена), Українську фондову біржу (148 членів), Асоціацію учасників фондового ринку (110 членів).

Функціональна інфраструктура фондового ринку являє собою упорядковану систему торгівлі цінними паперами, яка складається з комплексу правил здійснення купівлі-продажу цінних паперів та низки ринкових структур (професійних торгових посередників, фондових магазинів, фондових бірж, аукціони по продажу цінних паперів), безпосередньо виконуючих операції купівлі-продажу цінних паперів.

На первинному ринку фінансові посередники – інвестиційні банки - забезпечують розміщення первинних емісій, викупляючи цінні папери у емітента за заниженою вартістю для подальшого перепродажу. На вторинному ринку професійні посередники можуть купувати цінні папери за власний рахунок, тимчасово стаючи їхніми власником для отримання прибутку у вигляді різниці між цінами купівлі і продажу (ділерство), або виконувати доручення клієнтів на купівлю-продаж цінних паперів за комісійне винагородження (брокерство).

Інституціональне забезпечення ринкових операцій з цінними паперами здійснюють фондові біржі (централізований ринок з фіксованим місцем торгівлі) та нелокалізовані мережі посередників на позабіржовому ринку.

У 2000-2001 роках найбільші обсяги операцій з цінними паперами на організованому сегменті фондового ринку здійснювалися за посередництвом Першої фондової торговельної системи, обсяги торгів у якій за підсумками 2001 року склали більш ніж 6 млрд.грн. (72% від обсягів біржових операцій з цінними паперами загалом). Проте більшість торгів, які відбулися у ПФТС, ставала на долю операцій на вторинному ринку цінних паперів, серед яких найбільша частка приходилася на купівлю-продаж акцій ВАТ "Київенерго" (загальні обсяги укладених угод на суму у 331,4 млн.грн.), облігацій ЗАТ "Київстар GSM" (108,22 млн.грн.), ТОВ "Теком" (3,03 млн.грн.), ТОВ "Райфайзенбанк-Україна" (0,3 млн.грн.).

Технологічна інфраструктура ринку цінних паперів складається з системи правил проведення розрахунків по укладених операціях, зберігання і обліку цінних паперів та інституціональних структур, які здійснюють професійну діяльність з технологічного обслуговування фондового ринку.

Технологічне обслуговування функціонування ринку цінних паперів включає до себе здійснення наступних видів діяльності: депозитарної (зберігання цінних паперів, облік прав на цінні папери); ведення і зберігання реєстру власників цінних паперів; розрахунково-клірингової (операцій з визначення і виконання взаємних зобов'язань щодо постачання цінних паперів або їхньої оплати учасниками ринкових операцій з цінними паперами). Інституціональними структурами – професійними посередниками при здійсненні кожного з цих видів діяльності – є депозитарії, держателі реєстрів і клірингові компанії.

Найбільш гострою проблемою в розвитку технологічної інфраструктури фондового ринку України є тривалі труднощі щодо створення та забезпечення ефективного функціонування єдиного національного депозитарію, необхідність утворення якого було встановлено ще у 1997 році Законом України "Про національну депозитарну систему та особливості електронного обігу цінних паперів в Україні".

В акціонерному капіталі утвореного відповідно до цього Закону АТ "Національний депозитарій України (НДУ)" більшість акцій належить державі (86% статутного фонду), решта – приватним інвесторам та громадським об'єднанням учасників фондового ринку. Проте на протязі 1999-2001 років державні органи не могли досягти остаточної згоди щодо визначення відомства, яке було б уповноважене управляти НДУ. Через непорозуміння, що існували з цього приводу між державними установами, ефективному функціонуванню національного депозитарію перешкождали численні організаційні та фінансові труднощі.

Так, на фінансування діяльності НДУ Державним бюджетом України в 1999-2001 роках передбачалося виділення відповідно 3,85 млн.грн., 5,0 млн.грн. та 2,5 млн.грн., які не було отримано Національним депозитарієм. Суперечності з приводу законності передачі права голосування за часткою акцій в статутному фонді НДУ від Державної комісії з цінних паперів та фондового ринку до Міністерства фінансів України восени 2001 року призвели до ініціювання приватними акціонерами депозитарію судової справи щодо визнання недійсними рішення зборів акціонерів НДУ з приводу зміни керівництва депозитарію та ін. Водночас в Україні відбулося утворення іншого (недержавного) депозитарію, який визнається цілком здатним до виконання функцій центрального – ВАТ "Міжрегіональний фондовий союз".

Інформаційна інфраструктура ринку цінних паперів включає в себе правила надання та здійснення обміну інформацією між учасниками ринку цінних паперів, інформаційну систему і комплекс інформаційних зв'язків

між професійними та непрофесійними учасниками фондового ринку.

На інформаційну систему покладено виконання функцій забезпечення збору, обробки і надання учасникам операцій з цінними паперами інформації про емітентів, нові випуски, ціни і місця торгівлі цінними паперами. Система зв'язку об'єднує засоби зв'язку (інформаційно-комунікативні мережі) учасників ринку цінних паперів.

Для створення рівних умов діяльності на фондовому ринку усі його учасники (насамперед – держава) зацікавлені в оперативному зборі та відкритій публікації щонайменш мінімальних обсягів інформації про емітентів і стан ринку цінних паперів загалом.

Проте формування сучасної інформаційної інфраструктури фондового ринку в Україні є досить складним питанням, при вирішенні якого слід враховувати декілька важливих обставин, а саме:

технологічна база інформаційної системи ринкового обміну цінними паперами має не тільки відповідати сучасному стану фондового ринку, але й бути здатною до значного конструктивного удосконалення у відповідності з можливими змінами вимог учасників ринку щодо збільшення обсягів інформації, підвищення оперативності обробки даних, ускладнення функціональних можливостей інформаційної системи;

інформаційна система фондового ринку має забезпечувати надійний захист інформації, яка належить усім без винятку учасникам ринку, та служити засобом надійного запобігання будь-яким зловживанням або порушенням при здійсненні операцій з цінними паперами;

інформація, яка збирається та поширюється в інформаційній системі ринку цінних паперів, має бути достовірною та оперативною; крім того, учасники ринку повинні мати доступ до надійних засобів перевірки правдивості інформаційних повідомлень, які вони отримують від контрагентів;

інформаційна інфраструктура фондового ринку являє собою поєднання технологічних рішень різного рівня, тому конструктивні рішення, які реалізовуватимуться в процесі розвитку цієї інфраструктури, мають бути розраховані на якісно різні технологічні можливості, які є у різних учасників ринку цінних паперів.

Слід зазначити, що рівень розвитку інфраструктури фондового ринку України загалом відповідає наявному стану цього ринку та корпоративним відносинам, що на цей час склалися у вітчизняних акціонерних товариствах. Проте існуюча система корпоративного управління не здатна забезпечити потреби економіки у швидкому залученні великих обсягів інвестиційних ресурсів, необхідних для фінансування заходів з структурної перебудови та технологічного оновлення виробничої бази національного господарства. Так само інфраструктура фондового ринку в перспективі може здатися цілком нездатною обслуговувати значно більші обсяги операцій з цінними паперами. Особливою мірою це ствердження стосується функціональної та технологічної інфраструктури фондового ринку, суттєве підвищення рівня організації діяльності яких є важливим напрямком удосконалення корпоративного управління в Україні.

УДК 338.439.5

ЛИЗИНГ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ. НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗВИТИЯ И СДЕРЖИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Миняйло О.А., Богданович О.А.

(г. Харьков, Украина)

The shortage and wear of engineering in agriculture of Ukraine causes of implantation of new methods of upgrade of a resource base, one of which forms is the leasing

В последнее время на украинском рынке сельскохозяйственной техники наблюдается повышенный спрос. Эта тенденция вызвана катастрофической нехваткой сельхозтехники (прежде всего зерноуборочных комбайнов). На сегодняшний день общий парк сельхозмашин в аграрном секторе экономики Украины состоит на 60% из техники, исчерпавшей свой физический ресурс. И если тракторная техника, число которой составляет около 350 000 единиц, еще в состоянии провести работы по обработке земель и подготовке к посевной кампании, то большинство комбайнов (парк зерноуборочных машин в Украине насчитывает 65 000 единиц, среди которых 48 000 - это маломощные, изношенные «Нивы») не могут в полном объеме собрать урожай (а некоторые и вообще неработоспособны)

Если в 1990 г. на 1000 га сельскохозяйственных угодий в Украине приходилось 11,8 физического трактора, то в 2000г. – только 6,2. Количество зерноуборочных комбайнов в расчете на 1000 га посевов зерновых за этот период сократилось с 7,6 до 4,1 шт. Размер уборочной площади, приходящейся на каждый комбайн, возрос с 136 до 244 га, что привело к растягиванию сроков уборки урожая, потерям выращенного зерна. Следует заметить, что такой уровень технического обеспечения сельскохозяйственного производства не достигает даже 50% технологической потребности в тракторах, зерно-, кормо-, свеклоуборочных комбайнах, в других сельскохозяйственных машинах и орудиях.

Остро стоит проблема высокой изношенности имеющегося машинно-тракторного парка. В среднем, из общего количества всех тракторов 73% уже отработали амортизационный срок, зерноуборочных комбайнов – 75. Это один из основных факторов значительного снижения объемов производства сельскохозяйственной продукции, резкого ухудшения финансового состояния сельскохозяйственных производителей, что обусловило практически приостановку инвестиционного процесса в основной капитал сельского хозяйства.

В связи со сложившейся ситуацией назрел вопрос относительно внедрения новых для экономики нашей страны методов обновления материальной базы и модернизацию основных фондов предприятий различной

форм собственности, чтобы реально оживить предпринимательскую деятельность, обеспечить процессы экономического обновления и расширенного воспроизводства. Согласно Указа Президента от 3 ноября 2001 года «Про меры относительно развития рынка отечественной техники для агропромышленного комплекса и увеличения объемов ее производства» считать развитие отечественного машиностроения для агропромышленного комплекса вместе с его составляющими: созданием и производством машин и оборудования, их техническое обслуживание и ремонт, а также формирование рынка отечественной техники для АПК - приоритетным направлением построения национальной экономики. Среди основных направлений на улучшение финансового и материального состояния аграрного сектора экономики является создание условий для расширения системы предприятий, которые осуществляют реализацию, фирменное обслуживание, ремонт, выдачу в использование, в том числе по договорам лизинга техники для агропромышленного комплекса.

Лизинг – один из методов, который благоприятствует развитию отечественного производителя и научно-технического прогресса в целом, поскольку дает новые возможности доступа до его достижений и есть формой материально-технического обеспечения сельского хозяйства. Лизинг обеспечивает доступ к передовой технике и обновлению имеющегося парка не только в период экономического роста в разных странах, а и в условиях спада развития, даже такого, в каком оказался агропромышленный комплекс Украины.

Потенциальная эффективность лизинга в АПК подтверждается практической деятельностью созданных в Украине лизинговых компаний. Среди крупных из них следует отметить такие структуры, использующие средства бюджета, как НАК «Украгролизинг» и ОАО «ЛК Укragромашинвест», филиалы которых находятся фактически в каждой области Украины. Ввиду того, что эти компании при лизинговых контрактах практически не используют кредиты банков, а заменяют их бюджетными деньгами, то и их условия более приемлемы потенциальным лизингополучателям. Как положительный аспект, следует отметить, что при использовании государственных денег им позволено закупать и передавать в лизинг сельскохозяйственную технику исключительно отечественного производства. Так, только в 2001 году НАК «Украгролизинг» заключила контракты на сумму 27 млн. долларов США (около 45% рынка лизинговых услуг в АПК). В целом, за период 1998-2002 г.г. через дирекцию НАК «Украгролизинг» сельхозпроизводители на условиях лизинга получили 255 зерноуборочных комбайнов на сумму 130 млн. грн. Вместе с тем, задолженность «Украгролизинга» перед заводами за технику, купленную в 2000-2002 г.г. составила 32,1 млн.грн., так как аграрии не своевременно возвращают средства по договорам.

На сегодняшний день лизинговые компании, которые дают сельскохозяйственную технику в лизинг, предлагают высокую процентную ставку на нее. Если пересчитать конечную цену лизинговой техники в течении лизингового периода, то она возрастает в 1,5 и больше раз, что очень дорого для большинства сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств. Это, в основном, связано со сравнительно большой стоимостью лизинговой операции для лизингополучателя, которая сегодня складывается из таких затрат (зависимо от вида лизинга и стоимости кредитных ресурсов, данные могут различаться):

- привлечение иностранных кредитов для лизинговой операции – 7-9% годовых;
- стоимость гарантии банка – 3-5%;
- маржа лизинговой компании – 7-8%;
- общая стоимость операции – 17-22%.

Кроме того, в течении лизингового периода возникает немало поломок, вследствие чего цена лизинговой техники достигает цены 2-х единиц. Более низкие ставки лизинговых компаний на сельскохозяйственные машины дали бы возможность потенциальным покупателям брать больше техники в лизинг и оплачивать своевременно лизинговые платежи в течении полного лизингового периода. В свою очередь это позволило бы увеличить выпуск техники на заказ, что явилось бы дополнительным стимулом для производителя. Для примера, в Европе лизинговые компании предоставляют сельскохозяйственную технику в лизинг по цене на 5-10% выше от цены купли-продажи. Также одним из методов оживления лизинговых контрактов послужило бы и уменьшение первоначального взноса за предоставляемые сельскохозяйственные машины. Сейчас большинство лизинговых компаний требует уплаты первого взноса в сумме 25% стоимости техники, что при относительно большой стоимости на последнюю притормаживает процесс обновления парка сельскохозяйственных машин (так украинские комбайны в среднем стоят 60-90 тыс.долларов.)

Немаловажным фактором развития лизинговых операций является внедрение новых форм сбыта, создание льготных организационно-технических условий для лизингополучателя - техническое обслуживание, устранение неисправностей, поддержание техники в постоянной работоспособности или замена машины, которая вышла из строя.

Анализируя ситуацию, сложившуюся на лизинговом рынке АПК Украины можно выявить ряд сдерживающих факторов:

- несовершенство законодательства, в том числе в плане налогообложения. Лизингодатель не может использовать налоговый кредит по НДС, ограниченный сроком амортизации, сроком действия договора лизинга и др.
- низкая культура взаимоотношений агентов лизингового рынка;
- низкая покупательная способность потенциальных лизингополучателей;
- высокая стоимость кредитных ресурсов.

В заключении, следует отметить, что более-менее прибыльная работа аграрного сектора в последнее время создает предпосылки постепенного развития лизинга, как альтернативы банковскому кредитованию. Пока что рынок лизинговых услуг в Украине находится на самой ранней стадии своего развития. Нормативно-правовая

база, регулирующая лизинговые операции требует немедленного внесения изменений и исправления ошибок. Хочется надеяться, что украинские производители сельскохозяйственной техники и их потенциальные покупатели правильно оценят сущность лизинга и все преимущества этой формы кредитования, открывающей огромные возможности для обновления материально-технического производства и усиленного развития в целом. Украинское правительство в свою очередь оценит жизненную необходимость использования этого эффективного инструмента для инвестиционной деятельности, создаст для этого благоприятную правовую среду и соответствующие стимулы для развития лизингового бизнеса в Украине.

УДК 658.14/17

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ БАЗИС СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Пуятин Ю. А, канд. экон. наук, Бородинов В. А, канд. техн. наук,
Гриценко Г.Д., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

Methodological basis of strategical developing control of enterprise is proposed.

Анализ базовых концепций, составляющих основу теории стратегического управления развитием, особенностей процессов развития предприятий Украины в условиях трансформации, а также факторов связанных с этими процессами, позволяет сформулировать различия в технологии стратегического управления, принимаемой школой рациональной стратегии и подходом к стратегическому управлению развитием, основанным на современных тенденциях, который представлен в данной работе.

Школа рациональной стратегии предусматривает следующую технологию стратегического управления:

1. Предприятие оценивает внешнее окружение.
2. Формируется стратегия предприятия.
3. Моделируются условия реализации стратегии по схеме «Что будет, если?» и на этой основе уточняется общекорпоративная стратегия и функциональные стратегия и политика.
4. Осуществляется корректировка структуры предприятия под принятую стратегию.
5. Организуется реализация стратегии.

Подход стратегического управления развитием предприятия предполагает выполнение следующих этапов:

1. Оценивается и анализируется внутренние свойства предприятия.
2. Производится оценка внешнего окружения.
3. Выполняется реинжиниринг бизнес-процессов с привлечением инструментария моделирования управляемого развития.
4. Формируется организационная структура предприятия как свободная компактная организация, обладающая совокупностью специфических свойств: все члены организации разделяют общие ценности, разрешается автономия деятельности, поощряется самостоятельность, инициатива (т.е. активизируются атрибуты самоорганизации), придается большое значение горизонтальным отношениям между подразделениями и отдельными работниками предприятия, наряду с этим сохраняется жесткое централизованное управление.
5. На основе активизируемой, таким образом, организационной структуры формируется организационно-экономические, организационно-управленческие и информационно-коммуникационные механизмы.
6. Формируется общая стратегия развития предприятия и поддерживающие ее функциональные стратегии.
7. Моделируются возможные сценарии развития по двум схемам «Что будет, если факторы, характеризующие производство и внешнюю ситуацию, изменятся до определенного уровня?» и «Какими должны быть факторы производства и внешней рыночной ситуации, чтобы получить заданные желаемые результаты?».
8. Разрабатываются механизмы и программы обеспечения готовности предприятия к кризису на основе мониторинга ключевых, в кризисном отношении, факторов и поддержания постоянной готовности к возможному кризису.

9. Реализуется стратегия развития предприятия как процесс согласованного функционирования организационно-экономических, организационно-управленческих и информационно-коммуникационных механизмов.

Для подхода стратегического управления развитием предприятия характерны следующие особенности, которые являются одновременно и соответствующими положениями организации стратегического управления развитием предприятия.

А) Формирование организационной структуры происходит нетрадиционными методами, для которых главными являются включение механизмов мотивации, делегирования полномочий и запуск соответствующих механизмов самоорганизации.

В) В отношении стратегии справедливым оказывается ее неразрывная связь с процессами реинжиниринга, что можно характеризовать высказыванием: «реинжиниринг часто представляется как стратегия укрепления конкурентоспособности и преобразования организации в направлении изменения внешней среды».

С) В качестве базиса стратегического управления развитием предприятия выступает совокупность механизмов (организационно-экономические, организационно-управленческие и информационно-коммуникационные механизмы), позволяющие формировать стратегии развития; моделировать возможные сценарии развития; подготавливать и поддерживать в актуальном состоянии программы антикризисного управления; осуществлять

реализацию, стратегии развития (в том числе и антикризисного) путем стратегического управления.

Д) Анализ динамики развития предприятия в стратегическом управлении развитием осуществляется на основе базовой модели «Жизненный цикл» для всех динамических компонент предметной области: предприятия в целом; системы менеджмента; конкурентных преимуществ; нововведений; используемых технологий; бизнес-процессов предприятия.

Е) Стратегическое управление развитием является, прежде всего, информационным процессом. Поэтому информационная компонента организационно-управленческих и информационно-коммуникационных механизмов занимает в их структуре одно из важнейших мест. Информационная компонента строится на основе целостной системы принципов и реализуется на основе третьего поколения информационных экономических систем - систем поддержки принятия решения (СППР).

Ф) Система поддержки принятия решений определяется, как интерактивная прикладная система, которая обеспечивает конечным пользователям, принимающим решения, легкий и удобный доступ к данным и моделям, с целью принятия решений в плохо структурированных и неструктурированных ситуациях для различных областей человеческой деятельности и помогает руководителю в принятии решений. Такие системы имеют не только общую базу данных, но и общую базу моделей для решения задач и ориентированы не на автоматизацию функций лица, принимающего решения (ЛПР), а на предоставление ему помощи в поиске хорошего решения. Системы поддержки принятия решений по стратегическому управлению развитием предприятия могут быть эффективно использованы, прежде всего, при решении слабо формализованных задач формирования и реализации стратегий, синтез а механизмов функциональных стратегий моделирования ситуаций и ожидаемой динамики реализации программ развития. Назначение таких систем автоматизации функций менеджеров, а поддержка их действий для поиска необходимого решения.

Г) При описании организационно-экономического механизма разработки и управления стратегией предприятия следует исходить из представления его в виде системы. Для этого необходимо определить присущие такой системе:

- 1) первичные элементы;
- 2) отношения, устанавливающие связи между элементами;
- 3) условия, ограничивающие отношения единства;

Применительно к организационно-экономическому механизму разработки и управления стратегией предприятия, в качестве носителей будем рассматривать объекты ОЭМ (участники и структуры, в которые они объединены, методы, процедуры, модели, технологии) и стратегии. Источники, порождающие стратегии, будем делить также на два подмножества - внутренние и внешние источники. Внутренние источники представляют собой противоречия, порождаемые в процессе функционирования или взаимодействия элементов составляющих предприятия (технологии, продукты, персонал и т.п.) и ведущие к возникновению проблемных (инновационных) ситуаций. Внешние источники представляют собой противоречия, возникающие в процессах взаимодействия предприятия с факторами внешней среды, отражающие проявления научно-технического прогресса в отрасли и в промышленности в целом.

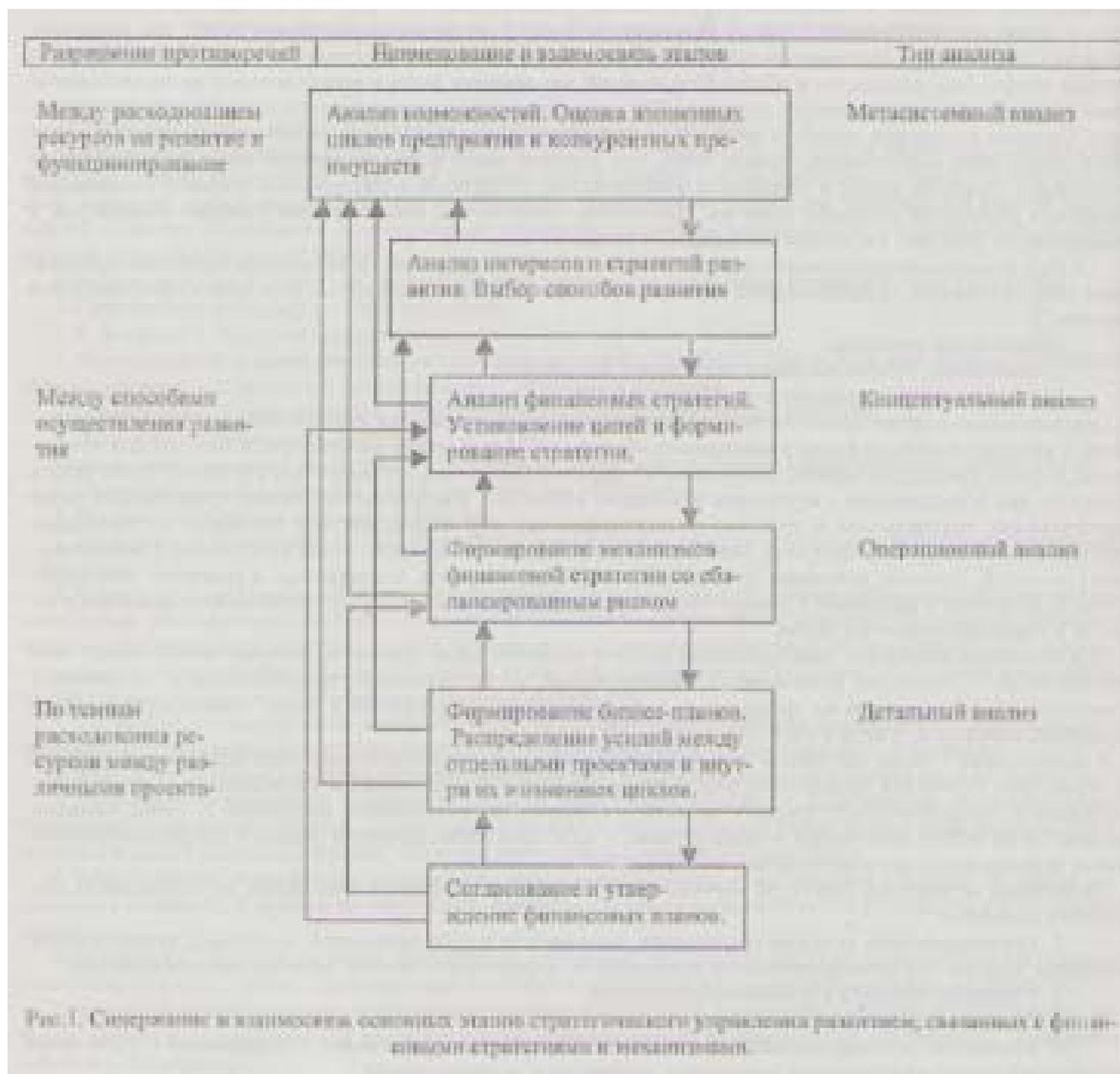
Под способами системных преобразований следует понимать такие элементы, которые обеспечивают либо трансформацию системных противоречий (экономических, организационных, технологических, технических, структурных), возникающих на предприятии, либо трансформацию стратегий в новые элементы (технологии, продукты, структуры, знания и т.п.).

В соответствии с таким системным представлением в организационно-экономическом механизме разработки и управления стратегией предприятия фиксируются участники формирования и управления стратегией, объединенные в определенные структуры. Участники используют организационные инструменты, чтобы, опираясь на некоторый общий ценностный и целевой базис, в ходе технологии принятия решений осуществлять собственно формирование или корректировку стратегии.

Дальнейшая детализация структуры системы ОЭМ «Стратегия» позволяет представить ее состоящей из следующих элементов:

1. Организационная культура предприятия, включающая в себя ценностные ориентиры; стратегические интересы; приоритеты жизнедеятельности; возможности; нормативную систему организационной культуры.
2. Участники процесса формирования стратегии.
3. Участники процесса реализации стратегии.
4. Множество мотивированных субмеханизмов для мотивации участников формирования и управления реализацией стратегии (отдельных менеджеров, коллективов, подразделений).
5. Структура, осуществляющая выработку стратегии (подразделения, отдельные работники и их взаимосвязи, функции, правила и регламент взаимодействия).
6. Инструменты формирования стратегии.
7. Инструменты реализации стратегии.
8. Методы выбора инструментов.
9. Правила применения инструментов.
10. Информационная структура механизма формирования и реализации стратегии.
11. Множество локальных процессов формирования и реализации стратегии.
12. Общая технология принятия решений по формированию и реализации стратегии.

13. Модели принятия решений в технологии принятия решений по формированию и реализации стратегии.
14. Классификатор стратегий.
15. Методы формирования множеств характеристик, составляющих содержание элемента «Организационная культура предприятия».
16. Множество показателей-критериев оценки результатов использования стратегии.
17. Методики формирования показателей критериев оценки.
18. Портфели стратегий.
19. Методы формирования портфелей стратегий.
20. Множество локальных концепций функционирования отдельных компонентов организационно-экономического механизма формирования и реализации стратегий предприятия.



Схема, отражающая содержание и взаимосвязь основных этапов стратегического управления развитием, которые связаны с финансовыми стратегиями и механизмами показана на рис. 1.

4. ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 629.7.036

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УКРАИНСКОГО АВИАЦИОННОГО АГРЕГАТОСТРОЕНИЯ

**Литвина Т.В., ассистент Национального Аэрокосмического университета «ХАИ»,
Матусевич В.А., Главный конструктор Харьковского агрегатного конструкторского бюро
(г. Харьков, Украина)**

The preservation of competitiveness production of aviation units in Ukrainian air is possible by reduction of terms of creation and development of new samples of air units and decrease of expenses both on a design stage, and on a production phase with the purpose of creation of a real opportunity of a price competition in the perspective

Markets of selling. The concrete ways of the decision of the put tasks are planned.

Отечественное авиационное агрегатостроение, как и авиационная промышленность Украины в целом, находится в кризисном положении. Причины этого многочисленны и лежат как в области политики, так и в области экономики. Перечислим их: низкие объемы производства авиационной техники в странах СНГ в связи с отсутствием потребности в силу экономического положения потенциальных потребителей и эксплуатантов; отсутствие внутреннего рынка новой авиационной техники в Украине, в связи с чем производители ориентированы на внешний рынок; отсутствие государственного протекционизма соответствующего внутреннего рынка; отсутствие (или недостаток) государственного финансирования перспективных программ создания образцов новой техники; недостаточное использование на рынке авиационной техники схем финансового лизинга, что снижает возможности приобретения потенциальными покупателями самолетов отечественного производства и комплектующих их агрегатов.

В результате всех этих факторов типичный размер партии агрегатов, необходимой заказчику, за последние годы стал равен от 5 до 20 штук.

Несмотря на перечисленные проблемы, украинское агрегатостроение сумело выжить в новых экономических условиях хозяйствования, и более того, накопленный опыт, оригинальные технические решения и передовые технологии позволили расширить рынки сбыта, обеспечить ремонт и успешно конкурировать в других отраслях экономики - в общем машиностроении, в танкостроении, в нефтегазовой промышленности. В последние годы значительно возросло количество агрегатов в авиационной технике Украины собственной разработки и изготовления, что иллюстрирует рис.2 на примере самолета АН-148.

В настоящий момент определились три направления, совокупность которых может обеспечить конкурентоспособность образцов новой техники отечественного агрегатостроения.

1-е направление - обеспечение улучшенных технических характеристик агрегатов при обеспечении требуемой надежности и живучести по сравнению с мировыми аналогами;

2-е направление - обеспечение конкурентоспособной цены на образцы такой продукции за счет снижения затрат;

3-е направление - сокращение сроков создания новых образцов авиационных агрегатов.

Эти три направления по условиям сегодняшнего рынка авиационной техники надо рассматривать совместно, так как накопленный опыт агрегатных предприятий говорит о том, что выход на внешний рынок обеспечивается улучшенными потребительскими характеристиками новых изделий при ценах несколько более низких, чем мировые цены на аналоги, а также при условии длительности производственного цикла от 1 года до 1,5 лет.

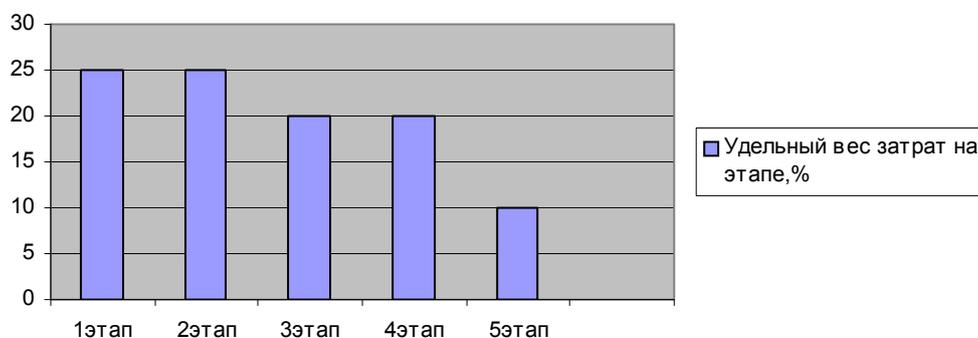


Рис.1. Типичная структура затрат и сроков на разработку и освоение образцов новой техники в авиационном агрегатостроении: 1 – разработка конструкторской документации (5 – 6 месяцев); 2 – изготовление опытных образцов (4 – 6 месяцев); 3 – доводочные конструкторские испытания (2 – 6 месяцев); 4 – официальные испытания заказчика (2 – 6 месяцев); 5 – испытания в составе изделия (2 – 5 месяцев)

Решение этих задач позволит обеспечить сохранение конкурентоспособности украинского авиационного агрегатостроения.

Литература

1. Анискин Ю.П., Моисеева Н.К., Проскуряков А.В. Новая техника: повышение эффективности создания и освоения. – М.: Машиностроение, 1984. – 192с.
2. Моисеева Н.К. Функционально-стоимостной анализ в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1987. – 320с.

УДК 546.26-162.02

ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТОПЛИВНЫХ АГРЕГАТАХ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ РЕСУРСОВ

Матусевич В.А., Главный конструктор Харьковского агрегатного конструкторского бюро
(г. Харьков, Украина)

The examples of application of diamond-like carbon coverings on friction pairs in hydraulic and fuel units to increase their life are given.

Увеличение ресурса гидравлических и топливных агрегатов – одно из главных условий повышения конкурентоспособности продукции. Ресурс агрегатов, как правило, определяется износостойкостью пар трения. Известные конструкторско-технологические решения с применением традиционных материалов и химико-термических покрытий не всегда позволяют резко повысить износостойкость трущихся пар. Вопросу уменьшения износа за счет новых покрытий посвящено много работ. К примеру, в [1] и [2] рассмотрен целый ряд методов повышения износостойкости деталей изделий авиационной техники.

Очень эффективным методом повышения ресурса пар трения гидравлических и топливных агрегатов является нанесение алмазоподобных углеродных покрытий на рабочие поверхности пар трения. Свойства таких покрытий и возможные области их применения рассмотрены в работах [3], [4]. Имеются сведения, что применение такого покрытия увеличивает ресурс плунжерной пары топливного насоса в 5 раз [5]. Алмазоподобные углеродные покрытия (АП) характеризуются:

- аномально-высокими механическими характеристиками, близкими к свойствам алмаза;
- низким коэффициентом трения (0,03...0,04) и высокой износостойкостью;
- большим удельным электросопротивлением и высокой коррозионной стойкостью;
- надежной адгезией покрытия при его нанесении;
- отсутствием схватывания с применяемыми материалами в парах трения;
- приемлемой ценой покрытия.

В Харьковском агрегатном конструкторском бюро с участием ОАО «ВАЗ» были проведены исследования работоспособности АП в парах трения некоторых гидравлических и топливных агрегатов.

На рис. 1,2,3,4 приведены фотографии деталей и узлов, на поверхности трения которых наносилось АП.

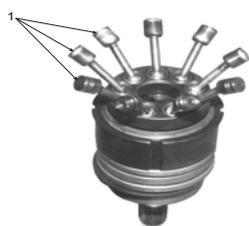


Рис. 1. Качающий узел гидромотора ГМ36/1: 1 – поршни, наружная цилиндрическая поверхность которых покрыта АП. Материал поршней 12ХН3А твердость после цементации HRC = 58-64

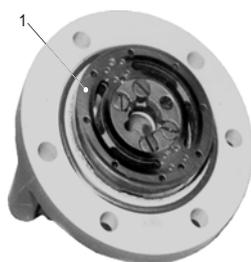


Рис. 2. Золотник с крышкой гидромотора ГМ 36/1: 1 – золотник, рабочая торцевая поверхность которого покрыта АП. Материал золотника 8Х4В9Ф2-Ш, твердость HRC > 61

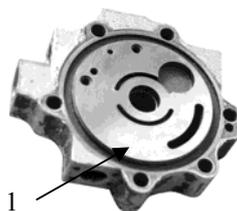


Рис.3. Проставка насоса насосной станции НС55А. Рабочая торцевая поверхность 1 проставки (материал Х12Ф1, твердость HRC = 51-56) была покрыта АП.

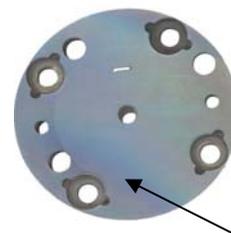


Рис. 4. Распределительный золотник НД-450, рабочий торец которого 1 покрыт АП. Материал золотника сталь 95Х18, поверхность под АП азотировалась и имела твердость > 640 HV.

После покрытия рабочих поверхностей деталей и узлов АП были проведены следующие работы:

1 Гидромотор ГМ36/1 был собран со стальным блоком цилиндров гидромотора ГМ40 (в обычном гидромоторе ГМ36/1 блок цилиндра – бронзовый) и были проведены испытания такого гидромотора в объеме периоди-

ческих испытаний (рабочая жидкость АМГ-10). По окончании испытаний износа пар трения не было обнаружено.

2 Насосная станция НС55А после сборки прошла испытания в объеме периодических испытаний (рабочая жидкость АМГ-10). Пара трения - рабочий торец проставки с АП и бронзированный торец блока насоса после отработки ресурса не имели следов износа (обычно здесь наблюдался защитный износ).

3 Топливный насос-дозатор (топливо – керосин ТС-1) НД-450 был собран с распределительным золотником с АП на рабочей поверхности. Затем НД-450 был подвергнут вибронгрузкам и последующей наработке, при этом замерялась зона нечувствительности, которая определяется величиной трения между распределительным золотником и дозирующим элементом. Эта зона осталась после испытаний неизменной, а при отсутствии АП на золотнике эта зона после таких испытаний увеличивалась и выходила за допустимые пределы.

Проведенные работы подтвердили эффективность и перспективность использования АП в парах трения гидравлических и топливных агрегатов с целью увеличения их ресурсов.

Литература

1. Кудрин А.П., Лабунец В.Ф. Перспективные направления в области поверхностного упрочнения и восстановления деталей авиационной техники.
2. Технологические системы № 5, 2002, с. 14-18.
3. Трофимов В.А., Белецкий В.М. Обеспечение надежности и долговечности подвижных сочленений массы, выполненных из титановых сплавов технологическими методиками. Технологические системы № 5, 2002 г.
4. А.И.Маслов, И.Н.Воронов, Г.К.Дмитриев, А.В.Романенко. Сопротивление износу вакуумных углеродных покрытий.
5. И.И. Аксенов, В.Г. Падалка, В.Е.Стрельницкий, В.Т.Толок, В.П.Зубарь, М.Ф.Семко. Некоторые свойства алмазоподобных углеродных покрытий и возможные области их применения. Сверхтвердые материалы № 1, 1999 г., с. 25-28.
6. Денисенко А.Г., Мочайло Е.В. Увеличение износостойкости плунжеров топливных насосов двигателей внутреннего сгорания. Материалы 9 Международной научно-практической конференции «Организация и технология ремонта машин, механизмов, оборудования» 1-5 октября 2001 г., г. Киев, с. 260.

УДК 534.1:62

РАСЧЕТ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ТУРБИНЫ ТУРБОКОМПРЕССОРА

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, проф., Тишковец Е.В., Потанин В.А., Касьянов В.А
(г.Харьков, Украина; г.Пенза, Россия)

The peculiars of forced vibrations of turbocompressor alone and double blades with flange shrouds were analyzed. The numerical calculations based on 3D finite element models of bladed wheels. The recommendations for blade constriction choice for reaching the necessary vibration characteristics are given.

При проектировании и эксплуатации современных газовых турбин одной из важнейших проблем является обеспечение вибрационной прочности их лопаточного аппарата. Ключевыми элементами численного виброанализа являются определение частот собственных колебаний системы [1-3] и адекватное представление внешней нагрузки [4].

Целью данной работы является анализ вынужденных колебаний и оценка вибропрочности рабочего лопаточного аппарата газовой турбины турбокомпрессора ТК 3527. Зачастую, при решении такого комплекса задач, конструкционные, технологические, эксплуатационные и прочностные требования достаточно сложны, а, в ряде случаев, противоречивы. Одним из эффективных решений проблемы является использование изготовленных заодно секторов, состоящих из двух лопаток, основания с елочным замком и полки с элементами лабиринтного уплотнения. Жесткость такой конструкции существенно возрастает по сравнению с единичной лопаткой или венцом с разрезной полочной связью. Существенно повышаются собственные частоты, а их спектр – становится более густым [1-3].

Объектами данного исследования являются единичная лопатка и сектор парных лопаток, объединенных полочной связью. Рабочее тело (газ) подводится к двум сегментам соплового аппарата. Данные о давлении газа перед турбиной свидетельствуют о его значительных периодических изменениях. Сложная геометрическая форма рассматриваемой конструкции приводит к необходимости использования трехмерных конечно-элементных моделей [1-3]. Конечно-элементная модель лопаток строится с использованием изопараметрического шестигранного двадцатиузлового конечного элемента в криволинейной системе координат. Изопараметрическая концепция позволяет аппроксимировать криволинейные границы элемента при помощи квадратичной интерполяции. В узлах сопрягаемых элементов удовлетворяются как кинематические, так и силовые условия, что обеспечивает сходимость метода при решении неконсервативных задач. Последнее обстоятельство является крайне важным при анализе вынужденных колебаний лопаток.

Вынужденные колебания целесообразно рассматривать способом разложения по собственным формам [1]. В целом, анализ вибропрочности лопаточного аппарата газовой турбины проводится на основе последовательных расчетов собственных колебаний единичной лопатки и сектора парных лопаток [2,3], а затем вынужденных колебаний согласно заданным возмущающим силам. Рабочие лопатки испытывают вынужденные колебания, вызванные периодическим изменением давления и температуры газа перед турбиной. Газ подводит-

ся симметрично к двум сегментам соплового аппарата.

Лопаточный аппарат колеса турбины турбокомпрессора подвергается действию переменных аэродинамических сил, вызванных окружной неравномерностью потока газов перед колесом [4]. Основным источником окружной неравномерности давлений на лопатки является импульсность потока перед турбиной и отдельный подвод газов от групп цилиндров к рабочему колесу. При импульсном наддуве, вследствие ряда конструктивных несовершенств системы подвода газа, поле давлений, действующих на лопатки турбины, постоянно изменяется. Будем считать, что импульсы давления в выпускных коллекторах одинаковы, а давление на лопатки пропорционально давлению газов перед турбиной. Скачкообразный характер изменения давления, действующего на лопатку, обусловлен разделением на секторы и импульсностью подвода газа к турбине [4].

Возмущающая сила $P(t)$, действующая на лопатку, является негармонической периодической функцией и может быть представлена в виде суммы бесконечного числа гармоник. Аналитически спектральное разложение такой нагрузки

$$P(t) = a_0/2 + \sum_{j=1}^{\infty} (a_j \cos(j \frac{2\pi}{T} t) + b_j \sin(j \frac{2\pi}{T} t)), \quad j=1,2,3,\dots \quad (1)$$

где a_0, a_j, b_j – коэффициенты ряда Фурье

$$a_0 = 2/T \int_0^T P(t) dt, \quad a_j = 2/T \int_0^T P(t) \cos(j \frac{2\pi}{T} t) dt, \quad b_j = 2/T \int_0^T P(t) \sin(j \frac{2\pi}{T} t) dt;$$

T – период времени подвода газа, с; j – номер гармоники; t – время.

Отметим, что $a_0/2$ соответствует среднему давлению газа перед турбиной за полный рабочий цикл. Если обозначить амплитуду j -ой гармоники как $P_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2}$, а сдвиг фазы j -ой гармоники как $\psi_j = \arctg(b_j/a_j)$, тогда

$$P(t) = a_0/2 + \sum_{j=1}^{\infty} (P_j \sin(\frac{2\pi}{T} t + \psi_j)), \quad j=1,2,3,\dots \quad (2)$$

Колебания происходят в нерезонансном режиме, но гармоники возмущающей силы, частота которых близка

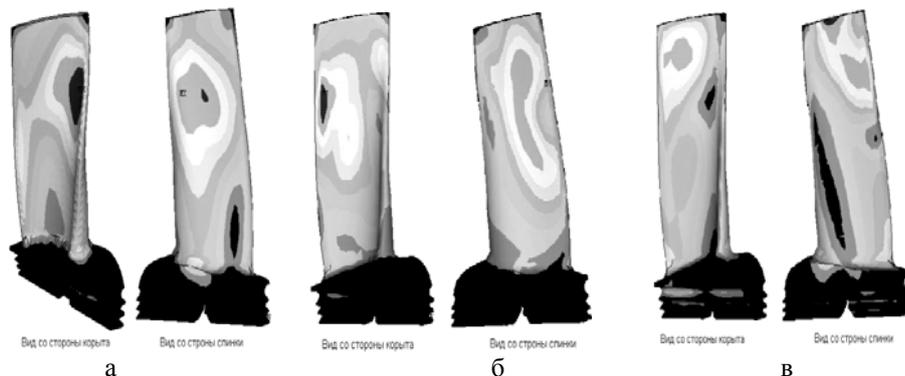


Рис. 1. Интенсивности напряжений единичной лопатки.

по собственным формам колебаний.

Поле амплитудных вибрационных интенсивностей напряжений для единичной лопатки при воздействии гармоник наиболее близких к первой собственной частоте представлено на рис. 1а. Область локализации напряжений довольно обширна и находится в верхней трети лопатки вблизи входной кромки. Регулировать напряжения в этой области довольно трудно. Для единичной лопатки также могут представлять интерес вынужденные колебания, вызванные гармониками, близкими к третьей и четвертой собственным частотам. Поля напряжений для этих случаев представлены на рис. 1б и 1в. Для колебаний в области третьей собственной частоты характерна зона локализации напряжений в верхней трети пера лопатки вблизи выходной кромки. Для колебаний, вызванных гармониками, близкими к четвертой собственной частоте, зона локализации лежит на периферии пера лопатки между выходной кромкой и серединой сечения. Уровень максимальных напряжений на порядок ниже по сравнению с колебаниями вблизи первой частоты.

Для пакета из двух лопаток (рис. 2а) общий уровень напряжений при воздействии гармоник, близких к первой собственной частоте системы, несколько снижается, сравнительно с единичной лопаткой. Интенсивности напряжений распределены более равномерно по лопатке. Имеется очень ограниченная область локализации напряжений для одной из двух лопаток под полкой. Кроме того, интерес представляют колебания, возбуждаемые гармониками, близкими ко второй и третьей собственным частотам системы. Поля напряжений при колебаниях вблизи второй собственной частоты представлены на рис. 2б. Уровень напряжений здесь снижается по сравнению с колебаниями вблизи первой частоты на два порядка. Наблюдается локализация напряжений на выходной кромке в корневой части лопатки. Интенсивности напряжений при колебаниях, вызываемых гармо-

к одной из собственных частот системы, представляют опасность. Выделим в (2) наиболее опасную гармонику с номером n и получим нагрузку, действующую во времени на одну лопатку. Демпфирование учитывается с помощью логарифмического декремента колебаний связанного с коэффициентом демпфирования при матрице масс [1]. Решение ищем в виде разложения

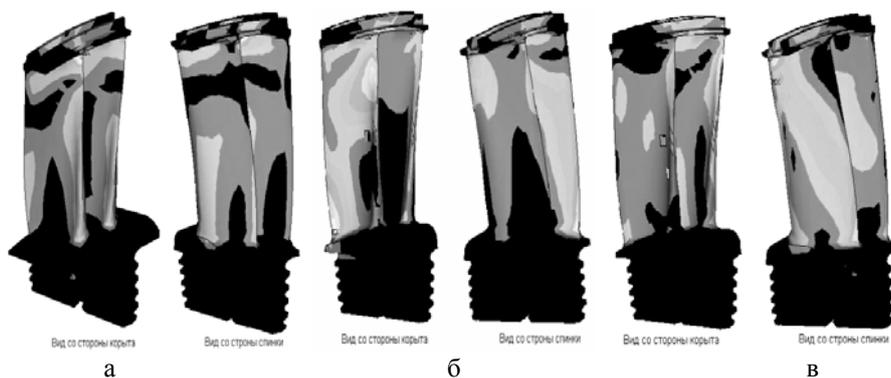


Рис. 2. Интенсивности напряжений пакета лопаток.

единичной лопатки, так и для пакета подробно не анализируются в связи с низким уровнем вибрационных напряжений.

Наибольший уровень вибрационных напряжений возникает при вынужденных колебаниях, возбуждаемых газодинамическими силами вблизи первой собственной частоты, но не превышает допустимого. Если для одиночной лопатки наибольшие вибрационные напряжения наблюдаются в обширных зонах в верхней трети пера лопаток, то для пакета парных лопаток напряжения распределены более равномерно, а их локализация возникает в определенных зонах под полкой. Область локализации может быть уменьшена за счет галтельных переходов. Для колебаний вблизи высших частот эти выводы остаются в силе, но уровень напряжений снижается на порядок и более. Изменение числа зубьев замка на колебания пакетов влияет слабо, т.к. вибрационные напряжения в замке весьма низки. В целом, пакет парных лопаток может быть признан более предпочтительным, чем одиночная лопатка. Кроме того, следует учитывать формирование газового потока и наличие лабиринтного уплотнения в полочном бандаже.

Литература

1. Воробьев Ю.С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин. – К.: Наукова думка, 1988. – 224 с.
2. Особенности моделирования колебаний пакетов турбинных лопаток с полочными связями / Воробьев Ю.С., Янецки С., Тишковец Е.В., Канило С.П. // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. – Харків: Нац. Аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т». – 2001. – Вип.26. Двигуни та енергоустановки. – С.157-160.
3. Анализ колебаний парных лопаток турбокомпрессоров с полочной связью / Воробьев Ю.С., Потанин В.А., Касьянов В.А., Тишковец Е.В. // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. – Харків: Нац. Аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т». – 2002. – Вип.31. Двигуни та енергоустановки. – С. 75-77.
4. Турбокомпрессоры для наддува дизелей: Справочное пособие / Байков Б.П., Бордуков В.Г., Иванов П.В., Дейч Р.С. // Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.

УДК 620.9; 621.165; 539.3:534.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Воробьев Ю.С. докт. техн. наук., Гошкодеря В.П. канд. техн. наук., Цыба А.Н., Тайч Л., Туринскы М.

(г. Харьков, Украина; Пльзень, Чехия)

The results of calculations of natural frequencies of blades of last stages on the basis of the improved theory of the twirled rod and three-dimensional certainly - element of model are compared to experimental data. The opportunity of use of the theory of the twirled rods in the area of applicability is shown.

Одной из важных проблем в турбостроении является исследование свободных колебаний рабочих лопаток паровых турбин. Рабочие лопатки последних ступеней имеют сложную геометрическую форму. Для их описания используется ряд математических моделей: от стержневых до трехмерных конечно-элементных моделей. Среди стержневых моделей наибольшую область применимости имеет уточненная техническая теория закрученных стержней [1].

На основании обобщенного принципа Гамильтона-Остроградского вариационное уравнение колебаний лопатки может быть записано в виде

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} \left[T(\dot{u}_i(r,t), \dot{u}_k(r,t)) - U(u_i(r,t), u_k(r,t)) \right] dt = 0, \quad (1)$$

где T , U – кинетическая и потенциальная энергии системы, $u(r, t)$ – обобщенное перемещение, r – вектор координат точек в неподвижной системе координат, t – время, t_1 , t_2 – границы интервала времени, на котором рассматривается движение.

Кинетическая и потенциальная энергии системы определяются как сумма энергий отдельных ее элементов [1,2].

Численные методы, и метод конечных элементов (МКЭ) в том числе, позволяют построить приближенное решение в виде суперпозиции аппроксимирующих функций [3].

Подстановка аппроксимирующих функций в функционал (1) и вариация по обобщенным координатам приводит к матричному уравнению

$$M\ddot{u}(t) + Ku(t) = 0, \quad (2)$$

где M - матрица масс, K - матрица жесткости.

При собственных колебаниях лопатки с частотой ω перемещения точек зависят от времени следующим образом $u(t) = ue^{i\omega t}$. Частоты и формы собственных колебаний лопатки могут быть получены из решения обобщенной собственной проблемы

$$Ku = \omega^2 Mu. \quad (3)$$

Для стержневой модели лопатки профиль произвольного поперечного сечения описывается набором координат точек. Все они автоматически считываются из базы данных и участвуют в моделировании границы. Далее строятся геометрические характеристики поперечных сечений лопаток. Это позволяет построить стержневую модель лопатки сложной формы, описывающую взаимосвязанные пространственные изгибно-крутильно-продольные колебания с учетом деформации поперечного сечения при кручении и сдвиге. Задача решается вариационным методом. В качестве аппроксимируемых величин используются моменты и усилия. Это дает возможность удовлетворить как главные, так и естественные граничные условия, а также в процессе вычислений использовать только численное интегрирование. В результате значительно улучшается сходимость и устойчивость метода [1, 4]. Пакет прикладных программ, в котором использована математическая модель лопатки, построенная на основании уточненной технической теории стержней несимметричного переменного поперечного сечения, внедрен на многих турбостроительных предприятиях. Он позволяет осуществлять расчеты геометрических характеристик поперечных сечений лопатки и частот ее собственных колебаний. Результатами расчета помимо этого могут быть формы собственных колебаний, внутренних усилий и моментов, относительных динамических напряжений.

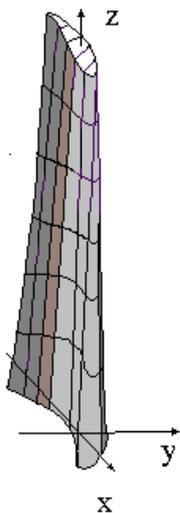


Рис. 1. Конечно-элементная разбивка рабочей лопатки

Развитие МКЭ позволило рассматривать конструкции лопаток сложной формы, естественно формулировать граничные условия, проводить исследования по наиболее общей трехмерной модели лопатки [2, 3]. Достоинством МКЭ является его универсальность и физическая наглядность. До сих пор самым трудоемким моментом использования трехмерной конечно-элементной модели является описание объекта и

подготовка исходных данных. Одной из проблем является значительный рост потребляемых машинных ресурсов при повышении точности расчетов и увеличении числа исследуемых элементов системы. Трехмерные модели на основе МКЭ позволяют более полно учитывать конструктивные особенности лопаток, включая замок, полки, ножки и др. Конечно-элементная модель лопатки строится с использованием изопараметрического шестигранного 20-узловой конечного элемента в криволинейной системе координат, рис. 2. Функциями форм служат интерполяционные полиномы Лагранжа. Изопараметрическая концепция дает возможность аппроксимировать криволинейные границы элемента при помощи квадратичной интерполяции. Все это позволяет построить адекватную модель лопатки при относительно небольшом числе элементов. При использовании этих двух моделей лопаток на достоверность результатов оказывает влияние погрешность исходной информации (геометрии, физических свойств) и погрешность, привносимая непосредственно самой методикой и реализацией ее в виде комплекса программ.

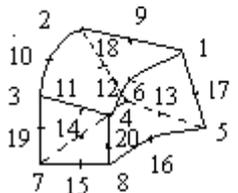


Рис. 2. Изопараметрический 20-ти узловой элемент

Для точность решения задачи вариационным методом на основе технической теории закрученных стержней основное влияние оказывает выбор вида и числа базисных функций и погрешность определения геометрических характеристик. Эти вопросы подробно рассмотрены в работах [1, 4]. Поэтому анализ этих вопросов здесь не проводится, а используются результаты ранее проведенных исследований.

На точность решения МКЭ существенное значение оказывает степень дискретизации конечно-элементной модели. Для некоторых конечных элементов существуют теоретические оценки этих ошибок. Они зависят от характерного размера и степени интерполяционных полиномов элемента.

Оценка ошибки может быть осуществлена путем расчетов на последовательности уточняющихся сеток. Для сложных объектов точность решения в различных областях будет сильно зависеть от локальной точности описания модели. Это включает в себя точность аппроксимации геометрии (для областей, прилегающих к границе), точность моделирования граничных условий, способ учета кривизны границы.

Рассмотрим колебания длинной лопатки последней ступени паровой турбины, рис. 1, и проведем сравнительный анализ результатов, полученных с помощью этих методик.

Результаты расчетов для трехмерной конечно-элементной модели лопатки с различной плотностью разбивки представлены в таблице. Там же приведены результаты расчетов, полученные на основании уточненной технической теории стержней и результаты экспериментальных исследований.

Для стержневой модели в третьей строке приведено число базисных функций соответственно для описания продольных колебаний – 2, изгибных в направлении подвижной оси минимальной жесткости сечения – 6, максимальной – 4, сдвига в этих же направлениях – 2, 2, крутильных колебаний – 5. Для МКЭ приведено число разбивок пера лопатки на элементы. Исходная разбивка в направлениях x , y , z соответствовала $N_x=5$, $N_y=1$ и $N_z=6$. В дальнейшем осуществлялась автоматическая разбивка на большее число конечных элементов.

Таблица

№ п/п	Частоты собственных форм колебаний лопатки, Гц						
	Трехмерная конечно-элементная модель с разбивкой вдоль осей x , y , z					Стержн, модель	Экспе- рим. част.
	5,1,6	5,1,12	10,1,12	10,2,12	10,2,18		
						2,6,4,2,2,5	
1	61,3	55,3	55,0	53,9	53,2	52,93	50-52
2	137,2	123,9	123,3	119,4	117,5	114,0	105-110
3	298,9	263,6	266,6	253,7	249,2	241,8	227-236
4	434,0	309,2	303,1	266,2	255,2	265,6	244-257
5	525,4	378,7	377,0	369,2	362,4	356,9	–
6	822,5	579,3	572,1	533,5	521,2	530,3	480-488
7	1038,6	667,4	656,3	593,4	557,2	578,1	–
8	1312,4	876,8	857,7	790,6	750,9	–	–
9	1382,5	1056,2	1032,4	950,5	876,8	843,0	840-864
10	1894,8	1091,6	1084,2	1060,6	1012,5	920,9	1016-1048

Из таблицы видно, что стержневая модель лопатки дает хорошее совпадение с результатами эксперимента в своей области применимости [1, 4]. В связи с этим она может успешно использоваться для решения задач наиболее общего плана, для экспресс-анализа собственных частот и оптимальной отстройки по их спектру, а также для оценки необходимой плотности конечно-элементной сетки. Трехмерную конечно-элементную модель целесообразно использовать для уточнения тех свойств объекта, которые стержневая теория не выявляет, например, при анализе распределения напряжений и особенно их локализации и т.д.

Литература

1. Воробьев Ю.С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин // Киев: Наук. думка, 1988. – 224 с.
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1978. – 519 с.
3. Yu.S. Vorobiev, A.I. Shepel and S.P. Kanilo Utilization of Complex Structure peculiarities via Finite element analysis // Computational Mechanics'95. Theory and Applications Pros. Intern. Conf. July 30 – August 3, 1995, Hawaii, USA, v. 1. – P. 723 – 727.
4. Писаренко Г.С., Воробьев Ю.С. Вопросы моделирования колебаний лопаток турбомашин // Проблемы прочности. – 2000. – № 5. – С. 122-126.

УДК 539.43

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Милешкин М.Б., канд. техн. наук, Библик И.В.

(г. Харьков, Украина)

Possibility of application of computer modelling within the framework of the special calculation-experimental method for research of kinetics of multicyclic fatigue of construction materials is considered. Basic investigations are carried out on the samples of low carbonaceous steel. It is set, that the developed approach allows to study kinetics of fracture and more grounded to fit for estimation of resource.

Явление усталости характерно практически для всех конструкционных материалов, при этом механизмы проявления усталости могут существенно различаться. Так, например, многоцикловая усталость характеризуется исключительной сложностью и многообразием процессов, происходящих в материале и большой чувствительностью этих процессов к влиянию различных факторов (конструкционных, технологических, эксплуатационных) [1]. Однако несмотря на огромное количество работ в области многоцикловой усталости, многие вопросы еще не решены, не существует и единого подхода к описанию процесса усталостного повреждения материалов, хотя общепризнано, что, как и любой процесс разрушения, усталостное разрушение происходит в несколько стадий. Можно выделить три основных подхода к описанию усталостной поврежденности – феноменологический, нелокализованного усталостного повреждения и локализованного усталостного повреждения.

В настоящее время нет и теории, которая могла бы с единых позиций описать основную часть закономерностей усталостного разрушения. Тем не менее существуют различные модели разрушения, которые позволяют описать некоторые из этих закономерностей. Наиболее разработанными являются следующие феноменологические модели: механические, статистические, энергетические, деформационные и механики разрушения [1]. Каждый из этих подходов дает возможность рассмотреть лишь некоторую часть этих закономерностей.

Представляет большой интерес исследование возможности применения специального расчетно-экспериментального метода (РЭМ) [2] определения прочностной надежности и к изучению явления многоциклового усталости. Этот метод уже позволил решить целый ряд задач при статическом нагружении – от определения характеристик прочности и пластичности при компьютерном конструировании материалов до исследования влияния различных видов повреждений на прочностную надежность материалов и элементов конструкций (в первую очередь из сталей и полимерных композиционных материалов (ПКМ) [3].

В РЭМ общая модель прочностной надежности состоит, как и в традиционном подходе сопротивления материалов, из четырех частных моделей – материала, формы, нагружения и разрушения. От общепринятых существенно отличаются 2 модели – материала и разрушения. Материал задается в виде массива (или массивов) структурных элементов, каждому из которых присваиваются определенные предельные характеристики, а модель разрушения реализуется в результате взаимодействия между структурными элементами, находящимися в различных механических состояниях. Это взаимодействие в модели разрушения рассматривается в рамках силового [2] и (или) энергетического [4] подходов.

В предыдущих исследованиях наиболее удобным оказалось за основную характеристику структурного элемента принимать его предельную деформативность, т.е. деформацию, при достижении которой этот структурный элемент разрушается. Распределенность значений этих деформаций определялась несколькими путями – по данным регистрации акустической эмиссии для ПКМ, по литературным данным и металлографическим исследованиям для металлов, а также по предварительным компьютерным экспериментам, в результате которых выбирались модели материала, позволяющие получать стандартные для конкретного материала характеристики прочности и пластичности, а также реалистичную кинетику разрушения. Следует особо отметить, что любое разрушение в общем случае является процессом сложным: кинетическим, многостадийным, статистическим и многомасштабным. В принципе РЭМ позволяет учесть все основные особенности процесса разрушения, характерные для данного материала.

Настоящая работа посвящена применению принципов, заложенных в РЭМ, к возможности исследования кинетики многоциклового усталости конструкционных материалов. На первом этапе было решено применить ту же методологию, которая использовалась при статическом нагружении, проведя, естественно, некоторые изменения с учетом специфики многоциклового усталости.

Так, в первую очередь возникает вопрос, можно ли использовать распределенность предельных деформаций структурных элементов, полученную при статическом нагружении, к исследованию процесса усталости. Этот вопрос неоднозначен. С одной стороны, существуют представления, что принципиального отличия нет, с другой – процессы пластической деформации при этих видах нагружения идут все-таки по-разному, и образуются различные дислокационные структуры. Можно попытаться учесть специфику деформационных процессов на начальной стадии многоциклового усталости путем дальнейшей детализации модели материала. Однако, учитывая большую локальность процесса скольжения при усталости и отсутствие необходимых данных в литературе, это потребует больших усилий без гарантии положительного решения. Поэтому в данной работе распределенность деформаций учитывалась на структурном уровне – размер зерна в стали, характерные размеры волокон и матрицы в ПКМ.

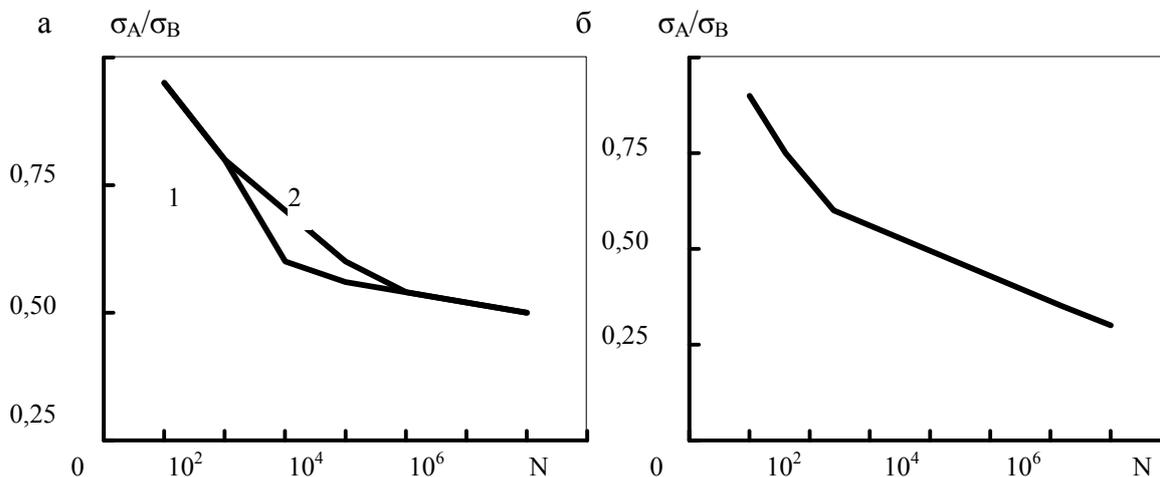


Рис. 1. Кривые усталости в полулогарифмических координатах при симметричной форме циклов для двух классов конструкционных материалов: а - низкоуглеродистая сталь: 1- силовой подход, 2 – энергетический подход; б – однонаправленный стеклопластик, силовой подход.

Уже первые результаты при "статическом распределении" предельных деформаций структурных элементов образцов низкоуглеродистой стали показали, что возможно получение полной диаграммы усталости. Процесс получения такой диаграммы как бы аналогичен натурным испытаниям образцов – последовательно "испытываются" образцы при разных амплитудах напряжения цикла. По оси абсцисс вместо числа циклов откладывается число шагов нагружения, которое образец выдерживает при заданной амплитуде цикла. Естественно, необходимо "шаги нагружения" заменить на число циклов. Для этого определяется ограниченный предел выносливости образцов конкретного материала в конкретных условиях испытаний (экспериментально или из справочных данных), затем проводится компьютерное нагружение при пределе выносливости и полученное число шагов приравнивается к 10^7 циклов. После этого диаграмма перестраивается (рис. 1). Естественно, что желательна экспериментальная проверка хотя бы для двух

других напряжений цикла.

После этого можно переходить к исследованию темпа и характера накопления повреждений в зависимости от числа циклов. Оказалось, что модель разрушения при многоциклового усталости требует некоторой модернизации, поскольку вначале не выполнялись соотношения между длительностью отдельных стадий усталостного разрушения. Эта модернизация проводилась в нескольких направлениях. Поскольку все стадии усталости характеризуются повышенной локализацией по сравнению со статическим разрушением, то применялось два приема: изменение распределения предельных деформаций в модели материала и применение в модели разрушения силового подхода с различными коэффициентами концентрации деформаций в вершинах трещин.

Некоторые результаты для образцов низкоуглеродистой стали показаны на рис. 2. Из рис. 2,а видно, что практически одновременно происходит развитие нескольких трещин (по оси ординат откладывается длина максимальной на данный период нагружения трещины), чем и вызван скачкообразный характер кривых, особенно при низкой относительной амплитуде цикла нагружения. Затем происходит локализация разрушения и распространение одной магистральной трещины.

С практической точки зрения, по нашему мнению, проведенные исследования имеют большое значение. Появляется возможность достаточно обоснованно подходить к определению ресурса изделий и элементов конструкций на всех стадиях жизненного цикла. Особенно это касается ПКМ, в которых трудно выделить локализованные усталостные повреждения.

Поскольку РЭМ позволяет учитывать любые виды повреждений (как структурные, так и геометрические), то результаты дефектоскопии на определенных этапах эксплуатации можно сравнивать с "расчетной компьютерной поврежденностью" и вносить в модель соответствующие изменения с определением реального остаточного ресурса. Поэтому в дальнейшем предполагается провести более детальные исследования для различных материалов и элементов конструкций.

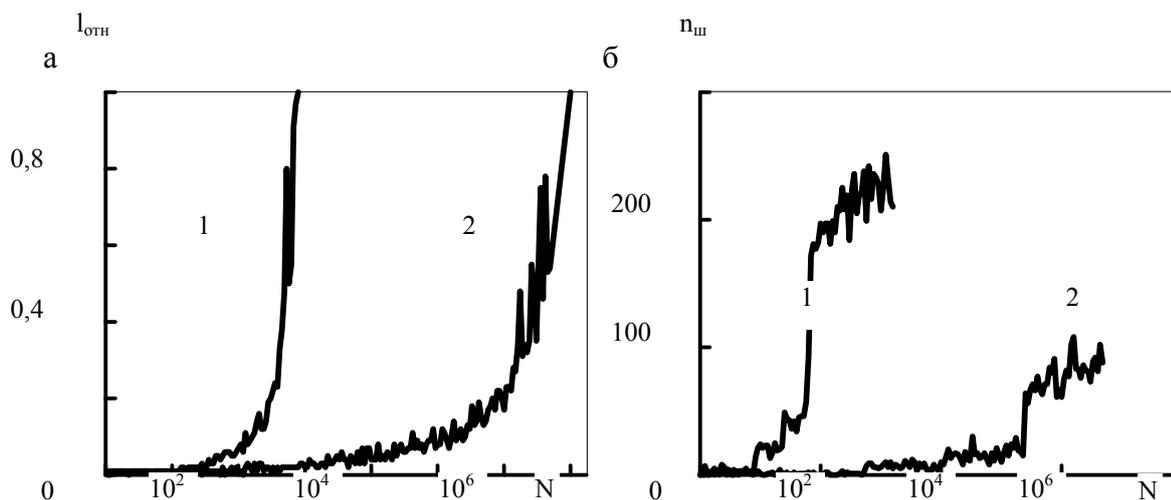


Рис. 2. Изменение относительной длины трещины (а) и числа разрушенных структурных элементов (активность за шаг нагружения $n_{ш}$) (б) при разных амплитудах цикла: 1 – $\sigma_A/\sigma_B = 0,7$; 2 – $\sigma_A/\sigma_B = 0,5$.

Литература

1. Механическое поведение материалов при различных видах нагружения / В.Т. Трошенко, А.А. Лебедев, В.А. Стрижало и др. – К.: Логос, 2000. – 571 с.
2. Mileshkin M.B., Biblik I.V. Diagnostics for strength of fibre-epoxy composite material wares using computer modeling of fracture processes // Proceedings 2nd Int. Conf. «Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics», Minsk, 1998. - P. 123 – 129.
3. Милешкин М.Б., Библик И.В. Комплексная оценка влияния различных видов повреждений материала на несущую способность элементов конструкций // Сборник научных трудов "Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования".- Харьков, ИПМаш НАНУ.- 2000.- С. 369-374.
4. Милешкин М.Б., Библик И.В. Реализация энергетического подхода при оценке прочности и пластичности конструкционных материалов специальным расчетно-экспериментальным методом // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 5-й Международной научно-технической конференции, 28-29 мая 2002 г.- Харьков: ХНПК "ФЭД", 2002.- С. 572-575.

УДК 539.3

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА КОРПУСА ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫБОРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, проф., Чернобрышко М.В., канд. техн. наук, Алекса С.В.
(г. Харьков, Украина)

The tense-deformed state of heat-exchange is explored both for elastic, and for elastoplasticity deformations. The rational choice of mathematical model depending on the volume active loading is offered.

При проектировании теплообменных аппаратов одной из важных проблем является обеспечение прочности их корпусов при воздействии внутреннего давления со стороны протекающей в них жидкости.

Расчет напряженно-деформированного состояния корпусов теплообменных аппаратов можно производить в

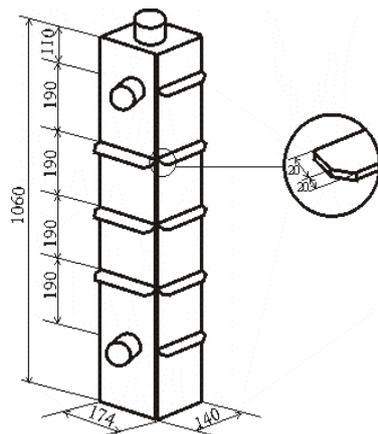


Рис. 1. Геометрическая модель корпуса теплообменного аппарата

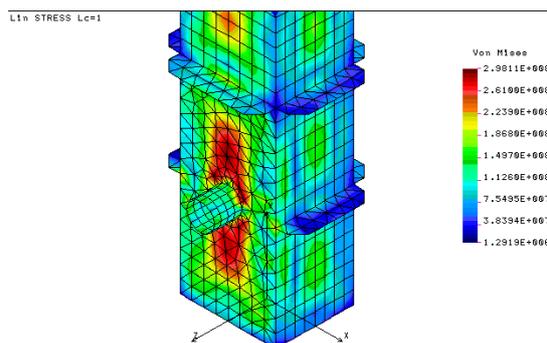


Рис.2. Поле напряжений корпуса при расчете по линейной теории упругости

зависимости от интенсивности нагрузки, используя математическую модель как в упругой, так и в упругопластической постановке [1,2].

Исследуется корпус теплообменного аппарата (ТА) с ребрами жесткости и штуцерами (рис.1). Его геометрические размеры следующие: толщина стенки корпуса 6 мм, толщина ребер 8 мм, диаметр штуцеров 50 мм, диаметр технологического штуцера 15 мм, толщина стенок труб 3 мм. Материал ТА – сталь со следующими характеристиками: модуль упругости - $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона - $\nu = 0.3$; плотность - $0,0078$ кг/см³; статический предел текучести - $\sigma_T^{ст} = 204$ МПа; модуль упрочнения - $E_T = 58 \cdot 10^2$ МПа; динамический предел текучести - $\sigma_T^д = 240$ МПа.

Обычно, корпус таких теплообменных аппаратов рассчитывается в упругой постановке. Однако, расчет на основе детальной конечно-элементной модели показывает, что в месте соединения корпуса с входным патрубком имеется зона локализации напряжений, уровень которых превосходит статический предел текучести (рис. 2). Поэтому необходим расчет конструкции в упругопластической постановке [2, 3]. Результаты расчета согласно теории пластичности представлены на рис.3. Величина максимальных напряжений снизилась из-за особенностей упругопластического деформирования, но, очевидна необходимость укрепления зоны соединения корпуса со штуцером.

Корпус теплообменника нагрет неравномерно. Причем максимальная температура (свыше 100⁰С) наблюдается именно в зоне входного патрубка, что приводит к необходимости термоупругопластической постановке задачи [4, 5]. Результаты расчета, приведенные на рис.4, показывают заметное увеличение перемещений в рас-

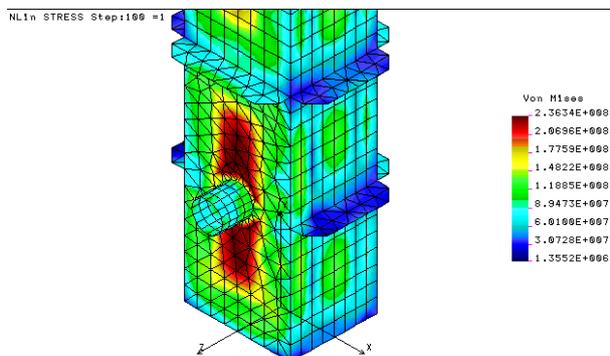


Рис.3 Поле напряжений корпуса при расчете в упругопластической постановке

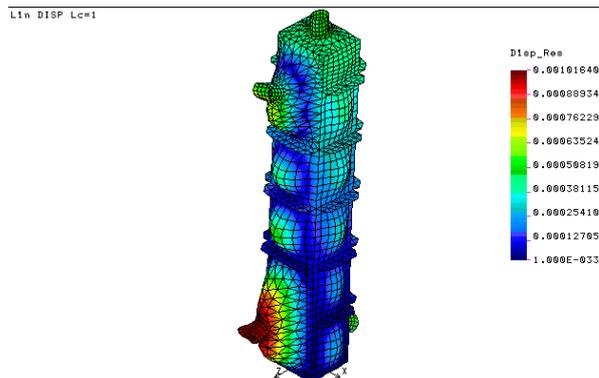


Рис.4 Поле перемещений с учетом температурных напряжений

смаатриваемой зоне. Наибольшее приближение к экспериментальным данным дают результаты, полученные на основе термоупругопластического деформирования. Для температур ниже 100°C вполне применим упругопластический подход. Видно, что интуитивное расположение подкрепляющих ребер не всегда обеспечивает допустимый уровень напряжений, особенно, в зонах их локализации.

Таким образом, сравнивая результаты экспериментальных исследований с расчетными данными, приходим к выводу, что наиболее реальную картину процесса дает математическая модель термоупругопластического деформирования.

Литература

1. Винокуров Л.П. Теория упругости и пластичности. - Харьков: Изд. Харьк. гос. университета, 1965.- 328 с.
2. Воробьев Ю.С., Чернобрышко М.В., Колодяжный А.В., Крушка Л. Анализ процесса пайки-сварки методом взрыва трубных досок теплообменных аппаратов // Проблемы прочности. - 2002.- № 4 - С. 126-131.
3. Воробьев Ю.С., Колодяжный А.В., Севрюков В.И., Янютин Е.Г. Скоростное деформирование элементов конструкций. - К.: Наук. думка, 1989.- 192 с.
4. Коваленко А.Д. Термоупругость пластин и оболочек. - Киев: Изд-во Киевского университета.- 1971. - 284 с.
5. Колодяжный А.В., Вакуленко К.В., Чернобрышко М.В. Ярещенко В.Г. Учет тепловыделения при соударении цилиндрических оболочек с различными скоростями скольжения // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 10 - 11 октября 2002 г.- Харьков: ХНПК "ФЭД", 2002.- С. 272 - 275.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ, ПРИЛОЖЕННЫХ К СВОБОДНОМУ ТВЕРДОМУ ТЕЛУ, С ПОМОЩЬЮ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ КИДИМ

Андреев Ю.М., канд. техн. наук, доц., Дружинин Е.И., канд. техн. наук, доц.,
Ромашов Ю.В., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The determination of the virtual work of the force applied to free rigid body is considered. Obtained results are used for rigid body static problems solving by means of the KIDYM software.

Постановка проблемы. Наиболее общим методом решения задач статики является принцип виртуальных перемещений. В программном комплексе КИДИМ описание сил осуществляется при помощи силовых элементов, которые представляются совокупностью виртуальных перемещений точек приложения сил и проекциями этих сил на направления соответствующих виртуальных перемещений. Практическое применение введенных таким образом силовых элементов, обладающих достаточной общностью, может быть затруднительным из-за отсутствия общего алгоритма моделирования сил при помощи этих элементов.

Анализ последних исследований и публикаций. К настоящему времени применение силовых элементов в программном комплексе КИДИМ для моделирования сил при решении задач механики ограничивалось рассмотрением двумерных задач [1]. Вместе с тем, комплекс КИДИМ, в котором реализованы общие методы и подходы к решению задач механики, может быть использован и для решения трехмерных задач, если будут разработаны соответствующие алгоритмы.

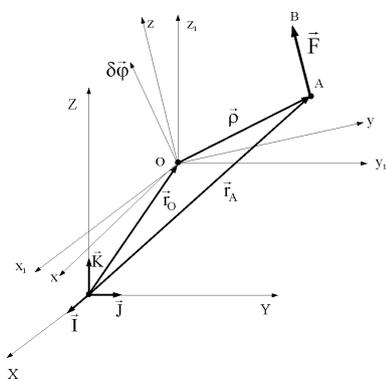


Рис. 1.

Цель и постановка задачи. Для более эффективного моделирования сил силовыми элементами при решении практических задач механики, необходимо рассмотреть вычисление виртуальной работы силы, приложенной к свободному твердому телу.

Пусть $OaXYZ$ - абсолютная система координат (рис. 1). O - произвольная фиксированная точка твердого тела (полюс). $Ox_1y_1z_1$ - система координат, получающаяся из системы координат $OaXYZ$ при помощи поступательного перемещения. $Oxuz$ - система координат, жестко связанная с телом.

Положение произвольной точки свободного твердого тела, например точки A , можно представить в виде (рис. 1):

$$\vec{r}_A = \vec{r}_O + \vec{\rho}, \quad (1)$$

где \vec{r}_O - радиус-вектор полюса, $\vec{\rho}$ - вектор, задающий положение точки A относительно полюса.

Возьмем производную от левой и правой частей равенства (1), представляющего собой тождество по переменной t , тогда получим:

$$\frac{d\vec{r}_A}{dt} = \frac{d\vec{r}_O}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{\rho}, \quad (2)$$

где $\vec{\omega}$ - угловая скорость тела при сферическом движении относительно полюса O.

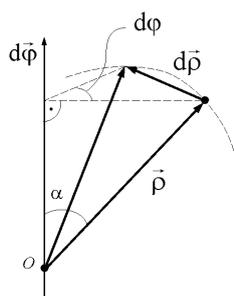


Рис. 2.

Введем вектор $d\vec{\rho}$ бесконечно малого поворота (рис. 2), абсолютная величина которого равна углу $d\varphi$ поворота вокруг мгновенной оси вращения, а положительное направление поворота отвечает правилу правого винта. Тогда угловую скорость тела можно представить в виде:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \tag{3}$$

Умножив левую и правую часть равенства (2) на dt , с учетом равенства (3) будем иметь

$$d\vec{r}_A = d\vec{r}_O + d\vec{\varphi} \times \vec{\rho} \tag{4}$$

В силу очевидных свойств вариаций векторных функций из (4) получим:

$$\delta\vec{r}_A = \delta\vec{r}_O + \delta\vec{\varphi} \times \vec{\rho} \tag{5}$$

Определим виртуальную работу силы \vec{F} на перемещении $\delta\vec{r}_A$:

$$\vec{F} \cdot \delta\vec{r}_A = \vec{F} \cdot \delta\vec{r}_O + \vec{F} \cdot (\delta\vec{\varphi} \times \vec{\rho}) = \vec{F} \cdot \delta\vec{r}_O + \vec{M}_O(\vec{F}) \cdot \delta\vec{\varphi} \tag{6}$$

где $\vec{M}_O(\vec{F}) = \vec{\rho} \times \vec{F}$ момент силы относительно точки O.

Как видно из выражения (6), виртуальная работа силы \vec{F} , приложенной в точке A к свободному твердому телу, равна работе этой силы на перемещении полюса и ее работе при вращении вокруг полюса.

Выражение (6) для виртуальной работы можно записать, представляя векторы \vec{F} , $\vec{\rho}$, $\delta\vec{r}_O$, $\delta\vec{\varphi}$ в проекциях на оси различных систем координат, что является следствием инвариантности скалярного произведения. При решении задач удобнее использовать систему координат Oxyz, жестко связанную с телом и задаваемую ортами $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$:

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}; \vec{\rho} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}; \delta\vec{r}_O = \delta x_O \vec{i} + \delta y_O \vec{j} + \delta z_O \vec{k}; \delta\vec{\varphi} = \delta\varphi_x \vec{i} + \delta\varphi_y \vec{j} + \delta\varphi_z \vec{k} \tag{7}$$

Слагаемые из правой части выражения (6) с учетом равенств (7) запишутся в виде:

$$\vec{F} \cdot \delta\vec{r}_O = F_x \delta x_O + F_y \delta y_O + F_z \delta z_O, \tag{8}$$

$$\vec{M}_O(\vec{F}) \cdot \delta\vec{\varphi} = (\vec{\rho} \times \vec{F}) \cdot \delta\vec{\varphi} = (yF_z - zF_y) \delta\varphi_x + (zF_x - xF_z) \delta\varphi_y + (xF_y - yF_x) \delta\varphi_z.$$

Тогда, с учетом равенств (8) окончательно получим:

$$\delta A_F = F_x (\delta x_O + z \delta\varphi_y - y \delta\varphi_z) + F_y (\delta y_O + x \delta\varphi_z - z \delta\varphi_x) + F_z (\delta z_O + y \delta\varphi_x - x \delta\varphi_y) \tag{9}$$

Выражение (9) позволяет представить силу \vec{F} при помощи трех силовых элементов, однако, по-разному группируя слагаемые в правой части выражения (9), силу можно представить также в виде одного, или шести силовых элементов:

$$\delta A_F = \left[\vec{F} \cdot \left((\delta x_O + z \delta\varphi_y - y \delta\varphi_z) \cos \left(\vec{F}, \vec{i} \right) + (\delta y_O + x \delta\varphi_z - z \delta\varphi_x) \cos \left(\vec{F}, \vec{j} \right) + (\delta z_O + y \delta\varphi_x - x \delta\varphi_y) \cos \left(\vec{F}, \vec{k} \right) \right) \right] \tag{10}$$

$$\delta A_F = F_x \delta x_O + (yF_z - zF_y) \delta\varphi_x + F_y \delta y_O + (zF_x - xF_z) \delta\varphi_y + F_z \delta z_O + (xF_y - yF_x) \delta\varphi_z \tag{11}$$

Рассмотрим применение полученных результатов для решения задач статики твердого тела.

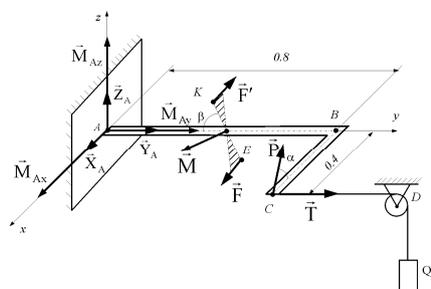


Рис.3.

Пример. Определим реакции жесткой заделки пространственного невесомого стержня ABC, жестко закрепленного в точке A и расположенного в горизонтальной плоскости так, что участок BC параллелен оси x (рис. 3). Сила $P = 4 \text{ кН}$ приложена в точке C стержня, действует в плоскости, перпендикулярной оси y так, что угол между силой и прямой BC $\alpha = 30^\circ$. Груз $Q = 2 \text{ кН}$ действует на стержень в точке C при помощи нерастяжимого троса, переброшенного через блок D. Участок троса CD параллелен оси y. В плоскости, наклоненной к оси y под углом $\beta = 60^\circ$, расположена пара сил, момент которой $M = 0.2 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Условия равновесия стержня имеют вид:

$$X_A - P \cos 30^\circ = 0; Y_A + T = 0; Z_A + P \sin 30^\circ = 0,$$

$$0.8P \sin 30^\circ + M_{AX} = 0; -0.4P \sin 30^\circ - M \sin 60^\circ + M_{AY} = 0; 0.8P \cos 30^\circ + 0.4T - M \cos 60^\circ + M_{AZ} = 0.$$

Решая данную систему уравнений, получим:

$$X_A = 3.46 \text{ кН}; Y_A = -2 \text{ кН}; Z_A = -2 \text{ кН};$$

$$M_{AX} = -1.6 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{AY} = 0.97 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{AZ} = -3.47 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Возможные варианты файлов исходных данных для решения рассматриваемой задачи при помощи программного комплекса КИДИМ, в котором силы и пары сил описаны силовыми элементами, приведены в табл. 1. Традиционное представление силового элемента предполагает наличие трех атрибутов [1]:

- **имя** - обозначение силы (пары), или ее составляющей;
- **характеристика** - числовое или аналитическое выражение модулей силы или пары сил, либо их проекций;
- **координата** - параметр, задающий виртуальное перемещение точки приложения силы (вариация угла поворота для пары сил).

Атрибуты силового элемента записываются в файле исходных данных в виде символьной конструкции, разделенной знаками “.” и “=”:

$$\langle \text{имя} \rangle . \langle \text{координата} \rangle = \langle \text{характеристика} \rangle$$

Имя силового элемента должно обязательно начинаться со строчной латинской буквы “P”. Предполагается, что координаты силовых элементов должны быть выражены через вариации обобщенных координат при помощи структур, как в варианте 1, представленном в табл. 1. Вместе с тем, возможны случаи, когда такие структуры не требуются, как, например, в варианте 2, представленном в табл. 1.

Таблица 1

Файлы исходных данных программного комплекса КИДИМ

Вариант 1	Вариант 2
<pre># Инструкции, идентифицирующие работу: # РАБОТА := №1; ВЫПОЛНИЛ := Иванов И.И.; # Силовые элементы: # РХА.хА=ХА; РYA.yA=YA; РZA.zA=ZA; РМАх.fiAx=МАх; РМАу.fiAy=МАу; РМAz.fiAz=MAz; РРх.xC=-P*cos(alfa); РРz.zC=P*sin(alfa); РТ.yC=T; РМу.fiAy=-M*sin(beta); РМz.fiAz=-M*cos(beta); # Структуры: # хC=xA-AB*fiAz; yC=yA+BC*fiAz; zC=zA+AB*fiAx-ВР*fiAy; # Числовые значения # BC=0.4; AB=0.8; ВР=0.4; alfa=alfaG*PI/180; alfaG=30; beta=PI/3; M=0.2; P=4; T=2; ÍÁÈÇÁÑÓÍÛ := ХА, YA, ZA, МАх, МАу, MAz; ÂÄÛÈÈÎÁÀÛ := ВР(0.2,0.4,1),alfaG(30,60); #ВАРЬИРОВАТЬ := ВР(0.2,0.4,1);# РАСЧЕТ := ДИАГНОСТИКА; РАСЧЕТ := СТАТИКА; КОНЕЦ;</pre>	<pre># Инструкции, идентифицирующие работу: # РАБОТА := № 2; ВЫПОЛНИЛ := Иванов И.И.; # Силовые элементы: # Р.х=ХА-P*cos(alfa); Р.y=YA+T; Р.z=ZA+P*sin(alfa); Р.Мх=0.8*P*sin(alfa)+МАх; Р.Му=-0.4*P*sin(alfa)-M*sin(beta)+МАу; Р.Мz=0.8*P*cos(alfa)+0.4*T-M*cos(beta)+MAz; # Числовые значения # BC=0.4; AB=0.8; ВР=0.4; alfa=alfaG*PI/180; alfaG=30; beta=PI/3; M=0.2; P=4; T=2; НЕИЗВЕСТНЫЕ := ХА, YA, ZA, МАх, МАу, MAz; ВАРЬИРОВАТЬ := ВР(0.2,0.4,1),alfaG(30,60); #ВАРЬИРОВАТЬ := ВР(0.2,0.4,1);# РАСЧЕТ := ДИАГНОСТИКА; РАСЧЕТ := СТАТИКА; КОНЕЦ;</pre>

Выводы. Выражение для виртуальной работы силы, действующей на свободное твердое тело, полученное в данной работе, позволяет эффективно моделировать силы при помощи силовых элементов, используемых в программном комплексе КИДИМ.

Литература

1. Андреев Ю.М., Дружинин Е.И., Ларин А.А., Митин О.В. Практикум по теоретической и аналитической механике с применением ПЭВМ. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2002. – 76 с.

УДК 534.1

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВИБРОИЗМЕРЕНИЙ КОЛЕСНО-РЕДУКТОРНЫХ БЛОКОВ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Белоцерковский А.Б., Жовдак В.А., докт. техн. наук, проф., Смирнов М.М., канд. техн. наук, Черных О.В., Яцько С.И., канд. техн. наук, доц.

(г. Харьков, Украина)

The article represents the method preparation of vibration-surveys of wheel-reducer blocks for transit vehicles. The discrete Fourier transform is used for the spectrum analysis, which realized by means of MATLAB 5.X. The spectrum of

useful signal is defined.

1. Постановка задачи

Колесно-редукторный блок (КРБ) электропоездов обеспечивает передачу крутящего момента от тягового двигателя к колесной паре [2]. Он состоит из тягового редуктора, колесной пары и буксовых подшипников.



Рис. 1. Буксовый узел КРБ электропоезда серии ЕЖ-3 с установленными на нем вибродатчиками: датчики № 1, 4 – вертикальное направление; датчики № 2, 3 – поперечное направление.

Для проверки состояния основных узлов КРБ (подшипников, зубчатых зацеплений и т.д.) используются методы безразборной диагностики, позволяющие определять степень износа деталей и выявлять опасные повреждения. Среди этих методов широко применяются методы виброизмерений. Они предполагают изучение вибрационных сигналов, снимаемых с корпуса КРБ на различных режимах работы электропоезда. Целью данной работы является исследование влияния динамических нагрузок на колесные пары ходовой тележки, проведение анализа спектрального состава усилий на колесные пары и вибрационного состояния ходовой тележки. Для этого проводилось измерение виброускорений и токов тяговых электродвигателей на различных режимах работы электропоезда. Буксовый узел КРБ электропоезда серии ЕЖ-3 с установленными на нем вибродатчиками представлен на рис. 1.

2. Схема измерений

Согласно составленному плану эксперимента, измерения виброускорений предполагалось производить с непосредственным выводом результатов на компьютер в реальном масштабе времени. Одновременно записывалось пять сигналов: четыре от вибродатчиков, один от датчика тока в тяговых электродвигателях, специально установленного вблизи штатного амперметра и обеспечивающего необходимую амплитуду сигнала и гальваническую развязку с силовой цепью. Осциллограмма вводилась в ЭВМ, выполнялась ее оцифровка и сохранение в виде файла при помощи специальной программы с применением аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Использование усилителя сигнала позволило добиться высокой линейности и низкого уровня шума. Для виброизмерений применялись пьезоэлектрические низкочастотные вибродатчики KD39, KD45. Структурная измерительная схема эксперимента представлена на рис. 2.

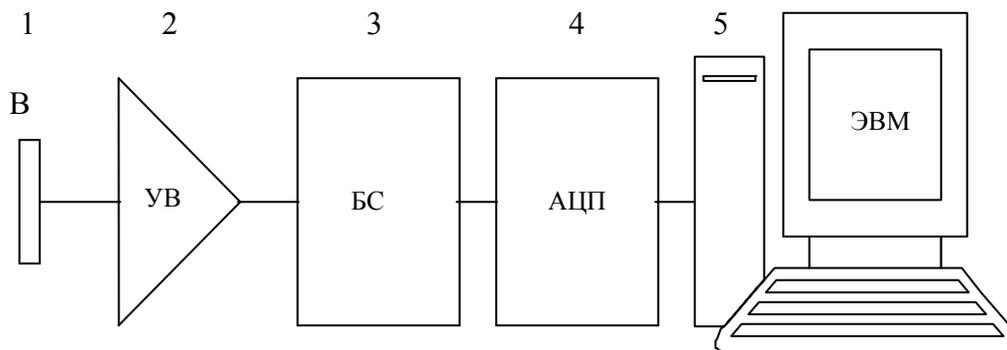


Рис. 2. Структурная схема измерительная комплекса: 1 – вибродатчик, 2 – усилитель вибродатчиков, 3 – блок согласования и гальванической развязки с компьютером, 4 – контроллер с АЦП, 5 – ЭВМ.

План эксперимента, согласованный со службой эксплуатации, предусматривал измерения виброускорений и токов тяговых электродвигателей на следующих режимах работы электропоезда: разгон, движение по инерции и торможение.

3. Методика обработки измерений и результаты

Для регистрации, обработки и просмотра осциллограмм в реальном масштабе времени были разработаны соответствующие программы. Обработка осциллограмм осуществлялась на основе системы инженерных и научных расчетов MATLAB 5x с помощью дискретного преобразования Фурье [1].

Дискретное прямое преобразование Фурье $X(k)$ для одномерного массива $x(j)$ длины N имеет вид:

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) e^{2\pi/N(j-1)(k-1)}. \quad (1)$$

Основное назначение преобразования Фурье заключается в выделении частот и амплитуд регулярных составляющих сигнала, зашумленного помехами. Амплитуды регулярных гармоник определялись следующим образом:

$$A(k) = 2|X(k)|/N. \quad (2)$$

Поскольку исследуемый процесс является нестационарным (изменяется скорость движения электропоезда на перегоне), то для анализа таких данных необходимо выбирать квазистационарные участки (участки с постоянной скоростью), длина которых достаточно велика для получения статистически достоверных результатов при данных условиях эксперимента [1].

На рис. 3 показана зависимость основных частотных составляющих виброускорений от скорости движения, заре-

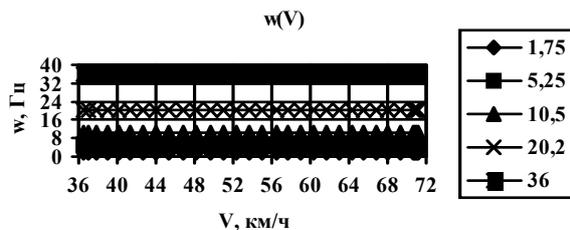


Рис. 3. Зависимость частотных составляющих виброускорений от скорости движения электропоезда.

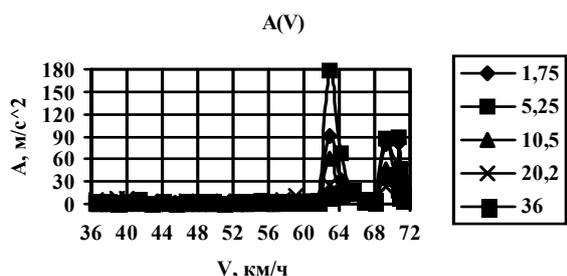


Рис. 4. Зависимость значений амплитуд виброускорений от скорости движения электропоезда.

Литература

1. Бендат Дж., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
2. Фадеев С.В., Сергеев А.А., Смирнов В.А. Комплекс диагностики колесно-редукторных блоков // Локомотив. Ежемесячный массовый производственный журнал. Июль 2002. № 7. С. 22-24.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРИКЛАДНЫХ ТЕОРИЙ

Сало В.А., канд. техн. наук, доц., Слесар Е.П.

(г. Харьков, Украина)

The problem about the stressed-state of not thin cylindrical shell of final length loaded with internal pressure is solved by variational method. The analysis and estimation of applicability of various applied theories of shells are executed.

Постановка проблемы. Анализ и оценка прочности и жесткости широко применяемых в современной инженерной практике оболочек предполагает расчет их напряженно-деформированного состояния на основе решений соответствующих краевых задач теории упругости. Решения таких задач в пространственной постановке сопряжены со значительными математическими и вычислительными трудностями, для преодоления которых используют различные прикладные теории оболочек, основанные, как правило, на разного рода упрощающих предположениях при переходе от трехмерных задач к двумерным.

Анализ последних исследований и публикаций. К настоящему времени построено большое количество разнообразных вариантов прикладных теорий оболочек, в той или иной мере уточняющих классическую теорию, основанную на гипотезах Кирхгофа–Лява. Обилие нередко противоречащих друг другу вариантов создает определенные затруднения в выборе и практическом применении уточненной теории.

Цель и постановка задачи. Один из возможных путей оценки приемлемости уточненных теорий оболочек заключается в сопоставлении полученных на их основе решений с результатами решения трехмерных задач. Результаты такого сопоставления, естественно, не дают окончательного ответа на вопрос о пригодности той или иной приближенной теории во всех случаях, однако проведение таких сопоставлений в широком диапазоне изменения параметров дает возможность с большей степенью уверенности и обоснованности указать те значения параметров, при которых выполняются принятые предположения.

Общая идея построения прикладной теории оболочек заключается в аппроксимации искомых компонент перемещений u_i и напряжений σ_{ij} конечными рядами типа (при $i = 1, 2$; $j = \overline{1, 3}$):

$$\left. \begin{aligned} u_i &= \sum_{k=0}^{l_i-1} u_{ik}(x_1, x_2) P_k(x_3); & u_3 &= \sum_{k=0}^{l_3-1} u_{3k}(x_1, x_2) P_k(x_3); \\ \chi_{3-i} \sigma_{ij} &= \sum_{k=0}^{l_{ij}-1} \sigma_{ij}^k(x_1, x_2) P_k(x_3); & \chi_1 \chi_2 \sigma_{33} &= \sum_{k=0}^{l_{33}-1} \sigma_{33}^k(x_1, x_2) P_k(x_3). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь $\{x_1, x_2, x_3\}$ – ортогональная криволинейная система координат, где x_1 и x_2 – координаты на срединной поверхности Ω_s оболочки, а координата x_3 отсчитывается по нормали к Ω_s ; $P_k(x_3)$ – аппроксимирующие функции, в качестве которых в основном применяются степени x_3 , полиномы Лежандра и тригонометрические функции; $\chi_i = 1 + x_3/R_i$; R_i – главные радиусы кривизны (при $i = 1, 2$) поверхности Ω_s .

Рассмотрим осесимметричную задачу для нетонкого изотропного цилиндра толщины h ($-h/2 \leq x_3 \leq h/2$) и конечной длины $2a$ ($-a \leq x_1 \leq a$). Цилиндр имеет свободные торцы и внешнюю поверхность ($r = R + h/2$), а на его участке $-b \leq x_1 \leq b$ внутренней поверхности ($r = R - h/2$) действует равномерное давление p_1 . Условие стационарности функционала Рейсснера I_R для расчетной упругой области Ω оболочки, а также структуры решений, точно удовлетворяющие граничным условиям трехмерной задачи, могут иметь вид, представленный в работе [1]. При этом введенные в (1) числа l_i, l_{ij} аппроксимаций компонент перемещений u_i и напряжений σ_{ij} по толщине оболочки определяют ее сдвиговую модель, выбор которой соответствует заданию комбинации величин $(l_i, l_3, l_{ii}, l_{i3}, l_{33})$ при $i = 1, 2$.

Численная реализация задачи. Расчет выполнен при следующих исходных данных: $E = 210 \text{ ГПа}$; $\nu = 0.3$; $a = 0.5 \text{ м}$; $h = 0.06 \text{ м}$; $R = 0.6 \text{ м}$; $p_1 = 1 \text{ МПа}$. В зависимости от выбранной сдвиговой модели, в таблице представлены результаты вычислений в сечении $x_1 = 0$ перемещений u_3^-, u_3^0, u_3^+ (аналогично напряжений) соответственно при $x_3 = -h/2$, $x_3 = 0$, $x_3 = h/2$.

Таблица.

Значения искомым величин в зависимости от толщины цилиндра и выбранной сдвиговой модели								
h/R	$(l_i, l_3, l_{ii}, l_{i3}, l_{33})$	$u_3^-, \text{ мкм}$	$u_3^0, \text{ мкм}$	$u_3^+, \text{ мкм}$	$\sigma_{22}^-, \text{ МПа}$	$\sigma_{22}^0, \text{ МПа}$	$\sigma_{22}^+, \text{ МПа}$	$\sigma_{33}^0, \text{ МПа}$
1/5	(2,1,2,1,0)	12.55	12.55	12.55	3.813	4.238	4.664	-0.450
	(2,2,2,2,1)	13.05	12.56	12.06	4.012	4.249	4.486	-0.442
	(2,3,2,3,2)	13.01	12.56	12.03	4.003	4.245	4.487	-0.442
	(3,1,3,1,0)	12.55	12.55	12.55	3.783	4.252	4.637	-0.450
	(4,2,4,2,1)	13.05	12.57	12.07	4.036	4.237	4.510	-0.450
	(4,3,4,3,2)	13.02	12.57	12.04	4.018	4.240	4.506	-0.450
	(7,7,7,7,7)	13.02	12.57	12.04	4.014	4.240	4.504	-0.450
1	(2,1,2,1,0)	1.046	1.046	1.046	0.287	0.289	0.290	-0.250
	(2,2,2,2,1)	1.458	0.989	0.520	0.497	0.314	0.131	-0.179
	(2,3,2,3,2)	1.654	0.891	0.705	0.495	0.312	0.129	-0.183
	(3,1,3,1,0)	1.045	1.045	1.045	0.286	0.289	0.290	-0.250
	(4,2,4,2,1)	1.483	0.986	0.489	0.574	0.286	0.145	-0.204
	(4,3,4,3,2)	1.684	0.891	0.703	0.700	0.248	0.202	-0.203
	(9,9,9,9,9)	1.744	0.894	0.655	0.776	0.252	0.200	-0.207

Приведенные в таблице результаты получены на основе применения сдвиговых моделей, соответствующих известным в научной литературе уточненным теориям оболочек. Так, вариантам (3,1,3,1,0) и (4,2,4,2,1) соответствуют теория пологих оболочек и прикладная теория оболочек В.В. Пикуля [2]; (2,1,2,1,0) и (4,3,4,3,2) – теория типа Тимошенко и прикладная теория [3]; (2,2,2,2,1) соответствует уточненная модель анизотропных оболочек [4], а (2,3,2,3,2) – теория типа Рейсснера–Нагди [5].

Распределение в сечении $x_1 = 0$ перемещения u_3 и напряжения σ_{33} по толщине ($|\zeta| = 2|x_3|/h \leq 1$) показано на рис.1 (цифры на графиках соответствуют числам аппроксимаций l_i при $l_{ij} = l_i$). Треугольниками обозначены результаты, к которым асимптотически сходятся приближенные решения, а кружками – результаты, вычисленные согласно известным для задачи Ламе аналитическим решениям, применение которых для цилиндра, нагруженного давлением не по всей боковой поверхности, может привести к неверным результатам.

Все используемые теории дают практически одинаковые результаты для оболочки тонкой ($h/R < 1/5$). Из анализа результатов таблицы следует, что для оболочки средней толщины предпочтительнее использовать теорию [4] – сдвиговую модель (2,2,2,2,1), которая по сравнению с (2,1,2,1,0) и (3,1,3,1,0) дает лучшие результаты во всем диапазоне

изменения толщины оболочки. Использование более сложной теории Рейсснера–Нагди [5] – сдвиговая модель (2,3,2,3,2) – дает одинаковые с теорией [4] значения напряжений и практически точные значения радиального перемещения u_3 . Наконец, наиболее точную и самую сложную (из рассмотренных) сдвиговую модель (4,3,4,3,2) имеет смысл применять (в случае сохранения в теории [3] слагаемых порядка $h/2R$ по сравнению с единицей) для оболочек нетонких. Согласно работе [6] теория [3] может эффективно использоваться при решении сложных краевых задач и для нетонких анизотропных оболочек с отверстиями.

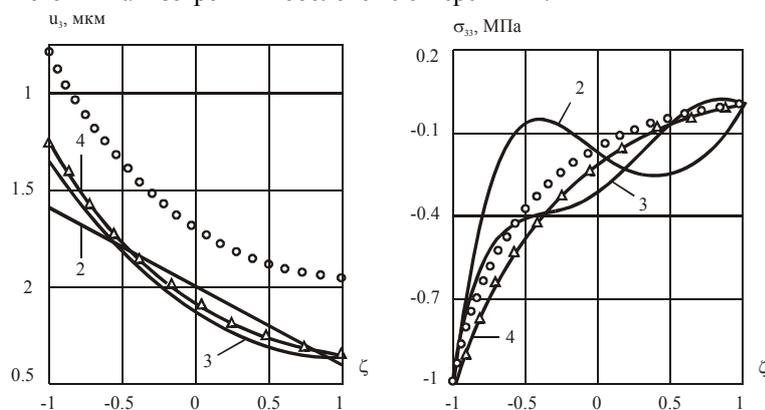


Рис. 1. Распределение перемещения u_3 и напряжения σ_{33} по толщине цилиндра

теории, заменяя решение трехмерной задачи некоторой двумерной задачей, не содержат регулярного процесса уточнения и имеют определенную область своего применения. В этом плане представляет теоретический и практический интерес разработанный и численно реализованный автором работ [1, 6] метод решения в трехмерной постановке краевых задач статически нагруженных ортотропных оболочек (в частности, пластин), как односвязных, так и ослабленных одним, несколькими, периодическими или двоякопериодическими системами отверстий произвольных размеров и форм. В указанном методе, основанном на использовании вариационного принципа Рейсснера, теории R–функций, общих уравнений пространственных задач теории упругости и алгоритма регулярного уточнения сдвиговой модели оболочки, в качестве первого приближения рассматривается теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью типа Рейсснера. Эффективность и возможности предложенного метода подтверждены решением ряда сложных задач для конструктивных элементов, использующихся в различных отраслях техники.

Литература

1. Сало В.А. Апостериорная оценка точности результатов расчета напряженно–деформированного состояния упругих оболочек произвольной толщины // Научно–практический журнал “Інтегровані технології та енергозбереження”. – Харків: НТУ (ХПІ), 2003. – № 1. – С. 37–46.
2. Пикуль В.В. Прикладная механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1989. – 221 с.
3. Родионова В.А., Титаев Б.Ф., Черных К.Ф. Прикладная теория анизотропных пластин и оболочек. – СПб.: Изд-во С.–Петербург. ун-та, 1996. – 278 с.
4. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Голуб Г.П. Статика анизотропных оболочек с конечной сдвиговой жесткостью. – К.: Наукова думка, 1987. – 216 с.
5. Нагди П. О теории тонких упругих оболочек // Механика: Сб. пер. иностр. статей. – М.: 1959. – Т. 128, № 1. – С. 71–81.
6. Сало В.А. Вариационно–структурный метод в задачах расчета концентрации напряжений в нетонких цилиндрических оболочках с прямоугольными отверстиями // Машиностроение. – 2002. – № 8. – С. 13–16.

УДК 621.004.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ

Новиков С. Г., канд. техн. наук, Малыхин В. В., канд. техн. наук,
Соколов В. С., канд. физ.-мат. наук, Соколова О. В., Павлов Е. В.
(г. Курск, Россия)

Usage of hydrodynamic effect for obtaining super-high pressure and high speeds of a fluid jet.

Неустановившиеся процессы в рабочей жидкости, как известно, приводят к получению силовых импульсов за счет инерционных свойств жидкости и гидравлических ударов. В настоящее время все более широкое применение получают гидросистемы с пульсирующей струей. Рассмотрим некоторые области применения подобных устройств.

При формообразовании изделий различными методами (штамповкой, литьем, ковкой, обработкой резанием и т.д.) в местах сопряжения поверхностей и на них самих остаются излишки материалов, вызывающие нарушения формы и точности деталей. Эти излишки материалов при окончательной обработке должны быть

ликвидированы, поэтому их называют ликвидами. К ним относятся грат, облой, заусенцы, окалины, пригары, шаржированные частицы. Современное производство предъявляет также высокие требования подготовки поверхностей к нанесению покрытий.

Разрабатываются все новые процессы очистки и подготовки поверхностей с учетом возросших требований к их качеству после проведения этих операций. По данным американской статистики, затраты на удаление заусенцев на предприятиях США составляют около 40% общей стоимости производства. Интенсификация процессов очистки и подготовки поверхностей является большим резервом повышения производительности труда и снижения себестоимости изделий [1-3].

Одним из наиболее эффективных способов очищающего воздействия на поверхность является струйная очистка за счет механического, физико-химического или химического факторов. Один из таких способов – гидродинамическая очистка, осуществляемая мониторными моечными машинами. Он заключается в том, что производится комплексное воздействие на деталь динамического напора струи, высокой температуры (до 80°C) и моющих средств.

Повышение производительности процесса очистки на 30-35% обеспечивается путем формирования прерывистых (трассирующих) струй с частотой порядка 1 Гц. Этот эффект реализован в одной из существующих моечных машин. Дальнейшее увеличение эффективности очистки может быть осуществлено за счет создания контролируемого гидравлического удара в рабочей жидкости перед насадками. Гидравлический удар реализуется в момент прерывания движения жидкости и направления потока по другому каналу к другому насадку [4]. Но возникающий гидравлический удар не контролируется, поэтому не используется максимально возможный эффект.

Для удаления заусенцев с деталей из взрывоопасных материалов или отрезки литников на деталях из мягких сплавов и пластмасс применяют режущую струю жидкости. В этих целях используют источник высокого давления и сопло определенной конфигурации. Обычно критическое сечение сопла 0,05-0,1 мм. Чаще всего в качестве рабочей жидкости используется вода.

В установках, разработанных рядом фирм США, используется давление до 700 МПа (7000 атм) при скорости струи 300-900 м/с. Удовлетворительные результаты получены для систем, работающих на 280-420 МПа. Свойство струи обеспечит почти точечную фокусировку, что делает ее идеальным точечным режущим инструментом, является очень важным при использовании автоматизированного оборудования. Рабочая струя может следовать по контуру любого шаблона. При обработке мягких и эластичных материалов срез получается чистый и четкий, смятия или деформации не наблюдаются [1].

Нами изобретено устройство – мультипликатор для получения сверхвысоких давлений рабочей жидкости. Оно обеспечивает импульсную подачу жидкости, причем характеристики импульсов регулируемые [5].

На рисунке показана схема предложенного гидроимпульсного устройства, которая соответствует текущему моменту заполнения пневмогидравлического аккумулятора рабочей жидкостью, когда давление в аккумуляторе не достигло величины, необходимой для начала работы устройства.

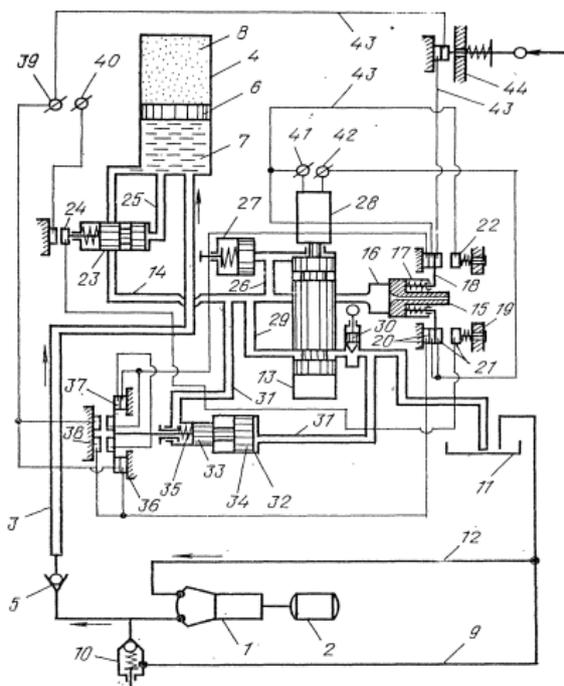


Рисунок. Гидроимпульсное устройство.

По достижении определенной величины давления в аккумуляторе 4 золотник клапана 23 под действием давления рабочей жидкости, находящейся в гидроканале 25, перемещается налево, замыкая контакты 24. Вследствие этого ток подается на электромагнит 28, золотник клапана 13 ключа гидравлических импульсов занимает крайнее верхнее положение, перекрывает напорную гидролинию 14 и открывает дополнительный трубопровод 29, через который рабочая жидкость начинает поступать в гидробак 11. Повышается давление в гидроканалах 31, плунжеры 33 и 34 перемещаются налево. Замыкаются и размыкаются соответствующие контакты, сердечник электромагнита 28 вместе с золотником клапана 13 перемещается вниз, перекрывая вначале трубопровод 29, а затем открывая гидролинию 14. Это зависит от отношения длины средней части золотника к расстоянию между входными каналами в клапан 13 трубопроводов 14 и 29 с учетом скорости движения золотника вниз; чем больше это отношение, тем позже откроется гидролиния 14 по отношению к моменту перекрытия трубопровода 29. Чтобы варьировать этим отношением, нужно или регулировать длину средней части золотника, или ставить сменный золотник с другой длиной средней части, предусматривая для этого необходимую первоначальную длину корпуса клапана 13.

Предусмотрено увеличение скорости золотника за счет давления рабочей жидкости через гидроканал 26. Вначале, в момент перекрытия трубопровода 29, создается гидравлический

удар, формирование и перемещение волны которого зависит от интервала времени между моментами перекрытия трубопроводов 29 и 14. Затем, с момента открытия гидролинии 14, гидроударная волна достигает сопла 15, перемещая его направо, при этом размыкая и замыкая систему контактов. Когда наступит установившееся движение жидкости к соплу 15, золотник клапана 13 перемещается вверх, открывая трубопровод 29 и закрывая гидролинию 14. Гидросистема и электросистема устройства находятся в исходном положении, гидроимпульсное устройство подготовлено к совершению следующего повторяющегося цикла.

Пик давления рабочей жидкости перед соплом 15 и наибольшая скорость струи через сопло 15 соответствует крайнему нижнему положению золотника клапана 13 и смещению сопла 15 до предела направо. Если гидроударное давление возрастает до нежелательного уровня, срабатывает компенсатор 27 (пружинного, пневматического или другого типа), чем погашается дальнейшее возрастание давления.

Период времени между импульсами регулируется посредством дросселя 30 с управляемой иглой. Чем больше гидравлическое сопротивление дросселя 30, тем больше продолжительность разгона рабочей жидкости в трубопроводе 29 до скорости, необходимой для создания гидроударной волны. Выбором величины этой скорости и соответствующего ей давления одновременно определяются и величина гидроударного давления, и продолжительность гидроимпульса. Принципиально возможно не только фиксированное регулирование дросселя 30, но и регулирование по любому закону с целью целенаправленного модулирования гидроимпульсов и изменения периода их возникновения. Полное открытие иглы дросселя 30 обеспечивает замыкание контактов 38 при минимально возможном периоде импульсов. Тем самым обеспечивается максимально возможная «скорострельность» устройства, производительность и КПД.

Таким образом, в разработанном устройстве реализуются следующие эффекты:

1. Повышается скорость импульсной струи за счет гидродинамического эффекта и получения сверхвысокого давления у сопла, что приводит к резкому увеличению давления на преграду и к увеличению производительности установки.

2. Процесс работы устройства автоматизирован, при этом обеспечен контроль и модулирование гидроимпульса по форме и периоду повторяемости. Следовательно, установка может быть приспособлена к разным условиям эксплуатации с получением максимальной эффективности.

3. Устройство принципиально может быть использовано как мультипликатор давления.

Конструкция может найти применение в машиностроении, горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях для гидронапорной очистки литья и промывки отверстий, в бурильных операциях для проходки скважин, в устройствах для гидроударного разрушения материалов и т.д.

Литература

1. Черный А.Г., Козлов В.А., Новиков С.Г. Современные методы снятия заусенцев с мелких деталей // Тез. докл. к областной научно-технической конференции «Техническое перевооружение и модернизация производства на базе комплексной автоматизации и вычислительной техники». – Курск, 1986. – С. 25-28.
2. Лосев А.В. Термоимпульсная отделка кромок и поверхностей сложнопрофильных деталей// Тр. 5-й Международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве»... 28-29 мая 2002 г. – Харьков, 2002. – С. 323-326.
3. Лосев А.В., Коростелева А.А. Очистка поверхностей и кромок деталей// Тр. 5-й международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве»... 28-29 мая 2002 г. – Харьков, 2002. – С. 327-330.
4. Козлов Ю.С., Кузнецов О.К., Тельнов А.Ф. Очистка изделий в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1983.-262 с.
5. Черный А. Г., Новиков С. Г., Матвеев В. В. (СССР). А. С. 1141228, МКИ F 15 B21/12; В 05 B12/06. Гидроимпульсное устройство.-3606332/24-24; заяв. 20.06.83; опубл. 23.02.85. Бюл. №7.

УДК 621.004.5

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО УСТРОЙСТВА

Новиков С.Г., канд. техн. наук, Малыхин В.В., канд. техн. наук,

Соколов В.С., канд. физ.-мат. наук.

(г. Курск, Россия)

Idealized operational analysis of the hydropulse device.

В ряде устройств и машин в настоящее время используется как энергия гидравлических импульсов, так и гидравлического удара. В таких машинах, как гидравлические вибрационные прессы, гидравлические молоты, гидроударники и гидроперфораторы, создание значительных импульсов является необходимым для обеспечения их основных функций. Для повышения величины импульса и КПД широкое применение получили различные аккумуляторы (механические, маховичные, пружинные, гидравлические, пневмогидравлические), при этом значительный положительный эффект был достигнут использованием пневмо-гидравлических аккумуляторов [1,2].

Находят промышленное применение устройства, в которых используется явление гидравлического удара. К ним относятся гидротараны для подъема воды и разрушения пород [3], бурильные агрегаты для проходки скважин с помощью продольного ударного импульса, гидроимпульсные установки для очистки литья [2]. Использование им-

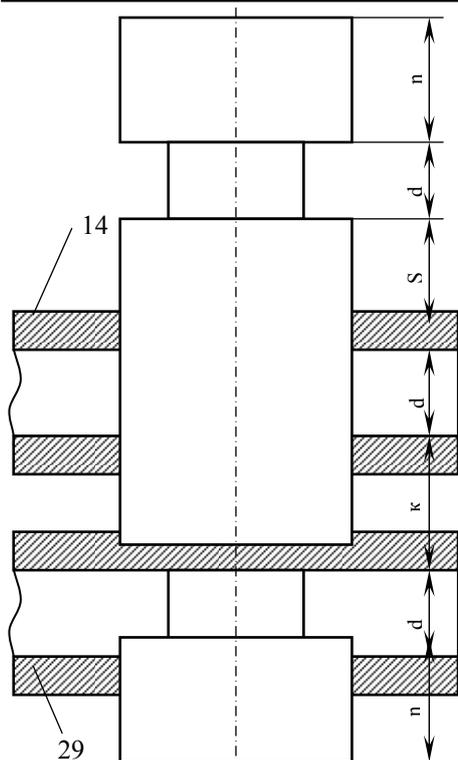


Рисунок. Золотник клапана 13 КГИ.

пульсов высоких и сверхвысоких давлений в процессе бурения и механической обработки металлов позволяет осуществить новые технологические процессы и ускорить существующие во много раз.

В разработанной конструкции гидроимпульсного устройства обеспечивается создание высокоскоростной импульсной струи с регулированием характеристик импульсов и периода их действия, что приводит к увеличению эффективности и производительности установки. Проведено аналитическое исследование по определению некоторых основных геометрических и конструктивных соотношений, динамических параметров гидроимпульсного устройства, использующего гидродинамический эффект для создания мощных гидроимпульсов, при этом использована схема устройства и позиции схемы помещенные в [4, 5].

Методика исследования имеет вид:

1. Подбираем геометрические и конструктивные размеры золотника клапана 13 ключа гидравлических импульсов (КГИ), позволяющие реализовать поставленную задачу – последовательно перекрыть дополнительный трубопровод 29 и напорную гидролинию 14 и при этом гарантировать возникновение гидроударной волны.

Средняя часть золотника (или запорно-регулирующая часть) должна иметь длину, превышающую расстояние между напорной гидролинией 14 и дополнительным трубопроводом 29, включая величину диаметров последних. Это видно из представленного рисунка, на котором длина средней части золотника равна $S + d + k > k + 2d$ или $S > d$.

При этом условии в момент, когда дополнительный трубопровод 29 будет перекрыт, напорная гидролиния 14 будет еще закрыта. При

дальнейшем движении золотника в сторону дополнительного трубопровода 29 напорная гидролиния 14 некоторое время остается закрытой.

Каково должно быть отношение $\frac{S}{d}$, чтобы возникла гидроударная волна? Вопрос не решается чисто геометрически. Однако выразить необходимые соотношения параметров с учетом динамики гидроударной волны можно вполне определенно. Для этого оценим величину S .

По формуле Жуковского Н.Е. для происхождения гидроудара необходимо, чтобы время перекрытия дополнительного трубопровода 29 $t < \frac{2l}{C}$, где l – длина напорной гидролинии 14 (от клапана 13 до аккумулятора 4); C – скорость распространения ударной волны.

Отсюда следует, что скорость перемещения золотника должна быть: $v > \frac{d}{t}$.

Условие полного гидравлического удара состоит в том, что напорная гидролиния 14 должна быть закрыта в течение времени, большем чем необходимо для возврата ударной волны к золотнику, откуда вытекает неравенство $\frac{S}{v} > \frac{2l}{C}$ или $S > \frac{2lv}{C}$. Следовательно, имеем систему двух неравенств:

$$\begin{cases} S > d \\ S > \frac{2lv}{C} \end{cases}$$

Приравняв правые части этих неравенств, получим минимальную длину напорной гидролинии l_{\min} , которая обеспечивает гидроудар при некоторых известных величинах d , C , и v , то есть $l_{\min} = \frac{dC}{2v}$.

Дополнительное условие создания гидроудара можно выразить так: $l > l_{\min}$.

Рассмотрим пример. Пусть $d = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ м}$, $C = 1200 \text{ м/с}$, $v = 7 \text{ м/с}$, тогда $l > \frac{dC}{2v}$; $l > \frac{0,015 \cdot 1200}{2 \cdot 7} = 1,286 \text{ (м)}$.

Примем $l = 1,5 \text{ м}$. В этом случае $l > \frac{2lv}{C}$; $l > \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 7}{1200} = 0,0175 \text{ (м)} = 17,5 \text{ (мм)}$.

Примем по расчету в примере $S = 20 \text{ мм}$ и зададим конструктивно: $n = 20 \text{ мм}$, $k = 25 \text{ мм}$. Видно, что размеры золотника вполне соответствуют промышленной установке. От длины l и размера S зависят производительность и КПД устройства. Вопрос оптимизации размеров не решен и нуждается в исследовании.

2. Определяем время разгона рабочей жидкости в напорной гидролинии 14 и дополнительном трубопроводе 29 до скорости установившегося движения.

Составим уравнение неустановившегося движения рабочей жидкости, для чего выберем сечение 1–1 на трубопроводе 14 в месте его соединения с аккумулятором 4, а сечение 2–2 – в конце дополнительного трубопровода 29, в месте погружения его в гидробак 11:

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{P_{am}}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \sum \xi \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} + \frac{l}{g} \cdot \frac{dv}{dt},$$

где P_a , P_{am} – давления соответственно в аккумуляторе 4 и атмосфере; γ – плотность жидкости; ξ – коэффициент, учитывающий местные сопротивления; $\lambda \frac{l}{d}$ – коэффициент, учитывающий сопротивление по длине трубопроводов (l и d – соответственно длина и диаметр трубопроводов 14, 29); v_0 – скорость при вытекании рабочей жидкости из аккумулятора 4, принятая постоянной; v – переменная скорость рабочей жидкости при выходе из дополнительного трубопровода 29.

Обозначая $\sum \xi + \lambda \frac{l}{d} = \xi_C$ и $\frac{P_a - P_{am}}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = Ha$, перепишем уравнение в виде:

$$Ha = (1 + \xi_C) \frac{v^2}{2g} + \frac{l}{g} \frac{dv}{dt}. \quad (1)$$

По достижении скорости установившегося движения $v \approx v_C$ ($\frac{dv}{dt} = 0$) из (1) получим:

$$v_C = \sqrt{\frac{2gHa}{1 + \xi_C}}. \quad (2)$$

Решая уравнение (1), с учетом (2) получим:

$$dt = \frac{2l}{1 + \xi_C} \cdot \frac{dv}{v_C^2 - v^2}, \quad t = \frac{l}{v_C(1 + \xi_C)} \ln \frac{v_C + v}{v_C - v}. \quad (3)$$

Введем обозначение $\tau = \frac{l}{v_C(1 + \xi_C)}$. С учетом выражения (2) получим $\tau = \frac{l}{\sqrt{2gHa(1 + \xi_C)}}$.

Перепишем уравнение (3) в виде $t = \tau \ln \frac{v_C + v}{v_C - v}$. (4)

Преобразуя выражение (4), имеем $v = h_C v_C$, где $h_C = th \frac{t}{2\tau}$. Из выражения (4) видно, что не может быть $v = v_C$, поэтому примем $v = 0,99v_C$ [3]. Тогда $t = \tau \ln 199$, или $t = 5,3\tau$. Учитывая выражения для τ ,

$$t = \frac{5,3l}{\sqrt{2gHa(1 + \xi_C)}}. \quad (5)$$

3. Находим время разгона рабочей жидкости до срабатывания контрольного электрогидравлического клапана 32.

Время разгона рабочей жидкости, по сравнению с полученным выражением (5), может быть уменьшено до требуемой величины с помощью контрольного клапана 32; соответственно уменьшается и скорость разгона рабочей жидкости и максимальное ударное давление при срабатывании клапана 13.

Выберем сечение 1-1 и 2-2 соответственно слева от клапана 32 – в местах подхода к клапану трубопроводов 31. Составим уравнение неустановившегося движения рабочей жидкости на участках трубопроводов 31, 14 и 29 между этими сечениями:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \xi_n \frac{v^2}{2g} + \frac{l_{1-2}}{g} \frac{dv}{dt},$$

в этом уравнении обозначено: $\xi_n = \xi_{кл} + \xi_{др} + \lambda \frac{l_{1-2}}{d}$,

где ξ_n – коэффициент суммарного сопротивления на участке между сечениями 1-1 и 2-2; $\xi_{кл}$ – коэффициент местного сопротивления в клапане 32; $\xi_{др}$ – коэффициент сопротивления дросселя 30; l_{1-2} – длина введенных в уравнение участков трубопроводов 14, 29, 31.

Для упрощения полученного уравнения будем считать достаточно малой длину l_{1-2} , а также то, что сопротивления в трубопроводе 29 между дросселем 30 и гидробаком 11 малы по сравнению с другими учтенными сопротивлениями. В упрощенном виде уравнение перепишется в виде:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \xi_n \frac{v_C^2}{2g}, \quad (6)$$

при этом учтено, что $v \approx v_1$, $l_{1-2} \approx 0$ и $\xi_n = \xi_{кл} + \xi_{др}$.

Выше было показано, что $v = v_c th \frac{t}{2\tau}$, поэтому уравнение (6) переписывается следующим образом:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \xi_n \frac{v_c^2}{2g} th \frac{t}{2\tau}. \quad (7)$$

Запишем уравнение равновесия плунжеров 33 и 34 клапана 32 без учета их инерционности:

$$F_n + P_1 \frac{\pi d_M^2}{4} = P_2 \frac{\pi d_\delta^2}{4}, \quad (8)$$

где F_{II} – сила упругости пружины 35; d_M, d_δ – диаметры плунжеров 33 и 34 соответственно слева и справа на схеме устройства.

Разделим уравнение (8) на $S_M = \frac{\pi d_M^2}{4}$ и на P_2 , тогда после несложных преобразований получим:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{d_\delta}{d_M} \right)^2 - \frac{F_{II}}{S_M \cdot P_2}. \quad (9)$$

С учетом выражения (9) уравнения (7) запишем следующим образом:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \left[\left(\frac{d_\delta}{d_M} \right)^2 - 1 \right] - \frac{F_{II}}{S_M \cdot \gamma} = \xi_n \frac{v_c^2}{2g} th^2 \frac{t}{2\tau}.$$

Из последнего уравнения получим время t :

$$t = 2\tau \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{2g \left\{ P_2 \left[\left(\frac{d_\delta}{d_M} \right)^2 - 1 \right] - \frac{F_{II}}{S_M} \right\}}{\gamma \xi_n v_c^2}}.$$

Введем обозначения: $\delta = \frac{\pi d_\delta^2}{\pi d_M^2} = \left(\frac{d_\delta}{d_M} \right)^2$, $P_{II} = \frac{F_{II}}{\pi d_\delta^2} = \frac{F_{II}}{\delta S_M}$, а выражение для t перепишем в виде

$$t = 2\tau \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{2g [P_2(\delta - 1) - P_{II}\delta]}{\gamma \xi_n v_c^2}}. \quad (10)$$

Для первоначального анализа рассмотрим в правой части выражения (10) первый член степенного ряда, то есть получим:

$$t = \frac{l}{Ha} \sqrt{\frac{2 [P_2(\delta - 1) - P_{II}\delta]}{\gamma \xi_n g}}. \quad (11)$$

Имея в виду, что $\delta > 1$, условие существования правой части выражения (11)

$$P_2(\delta - 1) - P_{II}\delta > 0, \quad \text{откуда}$$

$$P_2 > P_{II} \frac{\delta}{\delta - 1}. \quad (12)$$

В первом приближении можно предположить, что $P_2 = P_{AT} = 1 \frac{\text{кз}}{\text{см}^2} = 0,1 \text{МПа}$, в этом случае из неравенства (12) можно найти минимальное значение давления P_{II} пружины 35 являющееся нижним пределом работоспособности устройства:

$$P_{n_{\min}} = P_{am} \frac{\delta - 1}{\delta}.$$

Задавшись величиной δ можно конструктивно выбрать диаметры плунжеров 33 и 34.

Из зависимости (11) следует также, что в устройстве по [4] не полностью использованы возможности для регулировки параметров гидроимпульса в связи с малой величиной P_2 ; имеются резервы улучшения работы устройства.

Выводы:

1. Гидроимпульсная техника создает новые, в том числе и неизвестные пока, возможности для совершенствования различных машин и технологических процессов. Использование гидравлического удара представляет реальную возможность для получения мощных, в том числе регулируемых импульсов.

2. Математическое исследование гидроимпульсного устройства позволило определить некоторые основные геометрические и конструктивные соотношения и сделать ряд практических выводов о параметрах гидравлических импульсов, возможности их регулирования, а также о путях совершенствования устройства. Это направление исследований нуждается в продолжении, в том числе с применением компьютерной техники в силу сложности получаемых зависимостей и невозможности их преобразования к достаточно простому виду.

3. Необходима постановка экспериментов для оценки теоретических результатов и поведения жидкости в условиях сверхвысоких давлений.

Литературы

1. Сагинов А.С., Кичигин А.Ф., Лазуткин А.Г., Янцен И.А. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
2. Могендович Е.М. Гидравлические импульсные системы. Л.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
3. Овсепян В.М. Гидравлический таран и таранные установки. – М.: Машиностроение, 1968. – 173 с.
4. Черный А.Г., Новиков С.Г., Матвеев В.В. (СССР). А.С. 1141228, МКМ F15521/12; B05B12/06. Гидроимпульсное устройство. – 3606332/24-24; заяв. 20.06.83; опубл. 23.02.85. Бюл. №7.
5. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С. Использование гидродинамического эффекта для получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи жидкости. // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Тр. 7-ой Международной научно-технической конференции... 27-29 мая 2003 г – Харьков 2003.

УДК 539.3:621.224

ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНЫ В ЛОПАСТИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ НА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Асаенок А.В., Зайцев Б.Ф., канд. техн. наук, с.н.с., Шульженко Н.Г., докт. техн. наук, проф.
(г. Харьков, Украина)

Influence of the crack in the impeller blade of the radial-flaw turbine on the variation of the natural oscillations frequency spectrum is considered. An algorithm of the introducing of virtual cracks is proposed

Постановка задачи. Отстройка от резонансов рабочих колес гидротурбин, выполненная на стадии проектирования может нарушаться при возможном появлении трещин во время эксплуатации. Оценка влияния размеров трещин на спектр собственных колебаний необходима, как для оценки возможности появления новых резонансов, так и для диагностирования повреждений.

Наиболее вероятно появление трещин в зоне максимальной статической напряженности и концентрации напряжений. Такими зонами в рабочем колесе радиально-осевой гидротурбины являются области сварного соединения лопастей и верхнего обода.

Важным обстоятельством при компьютерном моделировании является алгоритм введения трещин, который должен обеспечивать оперативность изменения информации о параметрах трещины, что открывает возможность для вариантных исследований. В работе использован алгоритм, ориентированный на применение МКЭ с регулярной дискретизацией трехмерных конструкций на полилинейные изопараметрические элементы [1,2].

Алгоритм введения трещины. Принципиальная схема введения трещин путем трансформации сетки представлена на рис. 1, где показана проекция трехмерной сетки и вводимой сквозной трещины на плоскость рисунка.

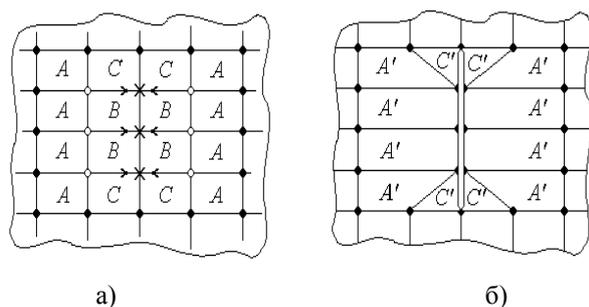


Рис. 1. Схема трансформации сетки при введении трещины: а) – исходная регулярная сетка без трещины; б) – полученная нерегулярная сетка с трещиной; А, С – преобразуемые конечные элементы; В – неучитываемые конечные элементы; о – сдвигаемые узлы S; х – неучитываемые узлы Q

Вдоль плоскости трещины вводятся два ряда элементов типа А, В, С с каждой из сторон. Узлы типа Q исключаются из рассмотрения, а соответствующие переменные не учитываются в матрицах жесткости и масс. Уравнения, отвечающие узлам Q, имеют отличные от нуля диагональные элементы (остальные равны нулю). Равны нулю элементы и в других уравнениях, относящиеся к переменным узлов Q. Узлы S сдвигаются к трещине, образуя слой двойных узлов. В результате трансформации сетки элементы В фактически исчезают из рассмотрения, элементы А трансформируются, изменяя положение части узлов, а элементы С вырождаются в треугольные призмы.

Формирование матриц жесткости или масс элементов А осуществляется при изменении ряда координат, а элементов В – при обособлении узлов Q путем диагонализации матриц относительно указанных узлов.

Матрицы жесткости и масс элемента В можно записать с использованием диадной формы представления тензоров (матриц) [3] в виде $[K_B]=N i_j i_j$, $[M_B]=M i_j i_j$, где i_j – вектор, у которого только j-я компонента отлична от нуля и равна единице; j – группа узлов типа Q и компонент перемещений в этих узлах; N, M – соответственно большое и малое произвольные числа.

Функции формы элемента в виде треугольной призмы получаются из функций формы шестигранника за счет сближения узлов S и Q и приравнивания соответствующих переменных в этих узлах. Матрицы жесткости и масс элементов С могут быть записаны в соответствии с указанными свойствами

$$[K_C]=[A]^T \cdot [K_C] \cdot [A] + N i_j i_j; \quad [M_C]=[A]^T \cdot [M_C] \cdot [A] + M i_j i_j,$$

где $[A] = E - i_j i_j + i_j i_k$ – матрица преобразования; $E = \sum_S i_S i_S$ – единичная матрица; K – группа узлов S и компонент перемещений в этих узлах; $[K_C], [M_C]$ – матрицы жесткости и масс шестигранника со смещенными узлами.

Численно анализировалась достаточность сближения узлов. Так, уменьшение длины ребер шестигранника в 10, 20 и 50 раз незначительно изменяло величину элементов вычисляемых матриц для треугольной призмы.

Введенная система признаков для идентификации разрезов, число которых не лимитируется, применена в вычислительном комплексе AVA [1, 2] для решения задачи статики и динамики конструкций в трехмерной постановке. На языке C++ разработана система программных модулей, реализующих предложенную методику введения трещин.

Численные исследования. Схема рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины представлена на рис. 2. Колесо закреплено по кольцевой поверхности части верхнего обода, имитирующей фланцевое соединение с валом гидротурбины. Введена виртуальная трещина на одной из 13 лопастей, длина которой l (на рисунке показана жирной линией и помечена стрелкой). Трещина по толщине лопасти сквозная, а ее длина поперек лопасти варьировалась вплоть до полного разреза. Выбор положения трещины обусловлен наибольшим уровнем статических напряжений от гидродинамических сил и динамических напряжений у выходной кромки лопасти у верхнего обода. Число узловых параметров для принятой конечноэлементной дискретизации составило 67548.

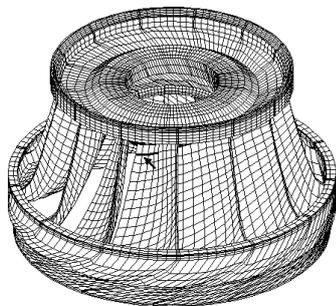


Рис 3. Рабочее колесо радиально-осевой гидротурбины.

Результаты расчетов спектров частот представлены в таблице.

При отсутствии разреза ($l/l_{\max}=0$) частоты 2 и 3, 4 и 5, 6 и 7 – парные и соответствуют параметру циклически симметричности форм 1,2,3 [4,5], что отвечает соответствующему числу "узловых диаметров" на осесимметричных элементах колеса – ободах. Первая частота соответствует крутильным колебаниям колеса, причем ее значение зависит от присоединенных масс валопровода,

что в данной расчетной схеме не учитывается.

При появлении трещины ($l/l_{\max} \neq 0$) парные частоты расслаиваются и степень их расслоения возрастает с увеличением ее длины. При полном разделении лопасти и верхнего обода ($l/l_{\max} = 1$) в спектре частот колеса появляются частоты, отвечающие формам колебаний образовавшейся консольной лопасти (частоты 1, 7).

Таблица.

Собственные частоты колебаний (Гц) рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины при разной относительной длине трещины в лопасти

l/l_{\max}	Номер частоты						
	1	2	3	4	5	6	7
0	51,07	53,22	53,22	76,94	76,94	152,5	152,5
1/2	49,99	52,59	53,19	76,23	76,74	150,8	151,9
3/4	48,71	52,35	53,12	75,62	76,28	145,8	149,6
7/8	48,04	52,30	53,10	75,43	75,99	137,1	146,2
1	44,30	47,36	52,28	54,22	75,29	76,44	98,25

Отметим, что предложенная процедура введения трещин и коррекции их размеров требует значительно меньших трудозатрат по сравнению с процедурой формирования конечноэлементной модели.

Выводы

Предложен алгоритм введения трещин в трехмерной МКЭ с топологически регулярной сеткой. алгоритм основан на перестроении конечноэлементной сетки и введении системы признаков и операций, корректирующих связи между узловыми переменными в матрицах жесткости и масс. перестроение сетки осуществляется в момент формирования или переформирования матриц. реализованный в виде программных модулей алгоритм может быть подключен к уже существующему программному обеспечению.

Выполнены численные исследования спектра собственных частот колебаний рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины в зависимости от глубины трещины в лопасти у верхнего обода. При сквозной трещине в спектре частот колеса появляются собственные частоты, отвечающие консольным формам колебаний лопасти.

Литература

1. Асаёнок А.В. Трехмерное моделирование деформаций и вопросы прочности объемных элементов поворотлопастных гидротурбин / А.В. Асаёнок, Б.Ф. Зайцев //Вестн. науки и техники.–Харьков: Харьк. дом науки и техники, 1997.– Вып.1.– С. 10 –18.
2. Асаёнок А.В. Расчет колебаний циклически симметричных конструкций трехмерными конечными элементами /А.В. Асаёнок, Б.Ф. Зайцев, Н.Г. Шульженко // Пробл. машиностроения.– 2001.– 3, № 3-4.– С. 22–28.
3. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970.– 939 с.
4. Иванов В.П. Колебаний рабочих колес турбомашин.– М.: Машиностроение, 1983.– 224 с.
5. Воробьев Ю.С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин.– Киев: Наук. думка,1988.– 220с.

УДК 539.3

ЗАДАЧА ТЕРМОУПРУГОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ПЛАНЕ

Сметанкина Н.В., канд. техн. наук, Свет Е.В., Шупиков А.Н., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

A method for solving stationary problem of thermoelasticity for multilayer plate with complex plan form is proposed. The strain-stressed state of a multilayer plate at heating by a film heat source is studied.

Достоверное определение температурного состояния конструкций является одной из актуальных задач в различных областях современной техники. От ее успешного решения зависит прочность, надежность и эффективность работы проектируемых элементов конструкций, в особенности, выполненных из разнородных материалов и имеющих сложную геометрическую форму.

Моделирование процессов теплопроводности в неоднородных телах сложной формы с учетом условий теплообмена, соответствующих реальным условиям эксплуатации, приводит к сложностям, связанным с описанием геометрических параметров, условий теплообмена с окружающей средой, решением систем интегральных уравнений [1, 2]. Потому в большинстве работ, посвященных решению задач термоупругости многослойных пластин сложной формы, принимаются гипотезы относительно распределения температуры по толщине и по площади пластины. В настоящей работе температурное поле в многослойных пластинах определяется из решения стационарной трехмерной (по пространственным координатам) задачи теплопроводности, а задача термоупругости многослойных пластин сложной формы в плане решается методом упругого погружения.

Рассматривается многослойная пластина, состоящая из I слоев постоянной толщины и отнесенная к декартовой системе координат, которая связана с наружной поверхностью первого слоя. В координатной плоскости пластина занимает область Ω , ограниченную контуром L : $x_L = x(\varphi)$, $y_L = y(\varphi)$. На внешних (S_0 , S_I) и боковой (S_L^i , $i = \overline{1, I}$) поверхностях пластины происходит конвективный теплообмен. Уравнения теплопроводности в слоях, условия конвективного обмена на поверхностях пластины и на границе контакта слоев с учетом возможных тепловых воздействий q_S^i на поверхностях слоев и внутренних источников тепла q^i получаются из вариационного уравнения теплового баланса [3]:

$$\begin{aligned} \chi(T) = & \sum_{i=1}^I \left\{ \frac{1}{2} \iiint_{V_i} \left[k_i \left(\left(\frac{\partial T^i}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T^i}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T^i}{\partial z} \right)^2 \right) - 2q^i T^i dv + (1 - \delta_{il}) \iint_{S_i} q_S^i T^i ds + \right. \\ & \left. + \frac{1 - \delta_{il}}{2} \iint_{S_i} (T^i - T^{i+1})^2 ds + \frac{1}{2} \iint_{S_L^i} H_L^i (T^i - T_L^i)^2 ds \right\} + \frac{1}{2} \iint_{S_0} H_1 (T^1 - T_n)^2 ds + \frac{1}{2} \iint_{S_I} H_I (T^I - T_b)^2 ds. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $T^i = T^i(x, y, z)$ – температура; k_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя; H_1 , H_I и H_L^i – коэффициенты конвективного теплообмена на внешней, внутренней и боковой поверхностях пластины; T_n , T_b и T_L^i – температура среды на границе с внешней, внутренней и боковой поверхностями;

$q_S^i(x, y, z) = \begin{cases} \bar{q}_S^i, & (x, y) \in \Omega_q, z = \delta_i \\ 0, & (x, y) \notin \Omega_q, z = \delta_i \end{cases}$, \bar{q}_S^i – тепловой поток, возникающий от действия источника тепла, расположенного на границе контакта соседних слоев; δ_{il} – символ Кронекера.

Операция варьирования функционала и дальнейшие преобразования с учетом формул Гаусса приводят к системе граничных условий

$$-\partial T^1 / \partial z + H_1 / k_1 (T^1 - T_n) = 0, (x, y, z) \in S_0, \quad \partial T^I / \partial z + H_I / k_I (T^I - T_b) = 0, (x, y, z) \in S_I, \quad (2)$$

$$\partial T^i / \partial n + H_L^i / k_i (T^i - T_L^i) = 0, (x, y, z) \in S_L^i, \quad (3)$$

$$k_i \partial T^i / \partial z - k_{i+1} \partial T^{i+1} / \partial z + q_S^i = 0, \quad T^i = T^{i+1}, \quad z = \delta_i, \quad (4)$$

где $n = n(x, y)$ – внешняя нормаль к боковой поверхности; $\delta_i = \sum_{j=1}^i h_j$, $i = \overline{1, I}$.

Распределение температуры в слоях и на боковой поверхности, а также плотность внутренних тепловых источников представим в виде [4]

$$\begin{aligned} T^i(x, y, z) = & \sum_{r=0}^R T_r^i(x, y) f_r^i(z), (x, y) \in \Omega, \quad T_L^i(x, y, z) = \sum_{r=0}^R T_{Lr}^i(x, y) f_r^i(z), (x, y) \in L, \\ q^i(x, y, z) = & \sum_{r=0}^R q_r^i(x, y) f_r^i(z), (x, y) \in \Omega_q, \end{aligned} \quad (5)$$

где $f_r^i(z)$ – полином Лежандра степени r , $f_0^i = \frac{1}{\sqrt{h_i}}$, $f_1^i = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{h_i}}(2\bar{z}_i - 1)$, $f_2^i = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{h_i}}(6\bar{z}_i^2 - 6\bar{z}_i + 1)$, ..., $\bar{z} = \frac{z - \delta_{i-1}}{h_i}$.

В разложениях (5) учтены первые три члена ряда, что обеспечивает достаточную точность решения. Из условий (2), (4) следует следующее представление для температуры

$$T^i(x, y, z) = \sum_{j=1}^I (\delta_{ij} f_0^i + \chi_{j1} f_1^i + \chi_{j2} f_2^i) T_0^j + (\psi_1^i f_1^i + \psi_2^i f_2^i). \quad (6)$$

Здесь δ_{ij} – символ Кронекера, χ_{j1} , χ_{j2} , ψ_1^i , ψ_2^i – константы, полученные в результате преобразований.

С учетом выражения (6) и условий (3) из вариационного уравнения теплового баланса (1) уравнение теплопроводности в i -м слое и граничные условия на боковой поверхности i -го слоя пластины. Данная краевая задача решается методом, разработанным в работе [5] для случая однослойных пластин. Исходная пластина погружается во вспомогательную охватывающую многослойную прямоугольную пластину с той же композицией слоев и нулевыми условиями на контуре. Условия конвективного теплообмена на внешних поверхностях вспомогательной пластины совпадают с условиями теплообмена на поверхностях исходной пластины. Дополнительные компенсирующие источники, распределенные по следу границы L , обеспечивают выполнение реальных граничных условий на боковой поверхности пластины. Из условия удовлетворения исходным граничным условиям на следе контура L формируется система интегральных уравнений для определения распределений компенсирующих источников. Метод решения этой системы состоит в разложении искомых функций в тригонометрические ряды по функциям, удовлетворяющим граничным условиям охватывающей прямоугольной пластины и в ряд вдоль следа контура L .

Термонапряженное состояние многослойных пластин под действием тепловых и силовых нагрузок исследуется в рамках уточненной теории пластин [6, 7]. Согласно гипотезам этой теории перемещения точки i -го слоя имеют вид

$$u^i = u + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_x^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_x^i, \quad v^i = v + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_y^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_y^i, \quad w^i = w, \quad i = \overline{1, I}, \quad (6)$$

где $u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$, $w = w(x, y)$ – перемещения точки координатной плоскости в направлении координатных осей; $\psi_x^i = \psi_x^i(x, y)$, $\psi_y^i = \psi_y^i(x, y)$ – углы поворота нормального элемента в i -м слое вокруг осей Ox и Oy .

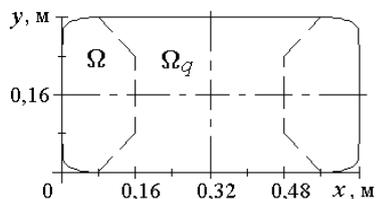


Рис. 1. Пластина.

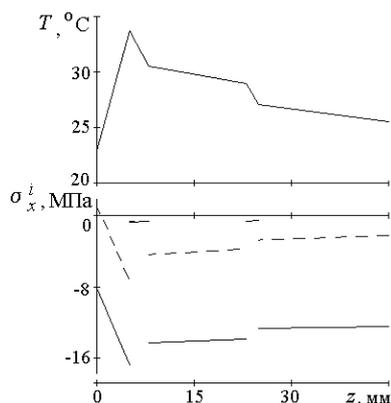


Рис. 2. Изменение температуры и напряжений по толщине пластины.

Задача термоупругости решается методом упругого погружения [6]

с учетом того, что обобщенный вектор нагрузок содержит температурные (6) и силовые нагрузки [7]. Рассматривается тепловое состояние пятислойной пластины, контур которой описан уравнением кривых Ламе $L: x_L = a \cos^{2/c} \varphi$, $y_L = b \sin^{2/c} \varphi$, $\alpha = 0,32$ м, $\beta = 0,16$ м, $c = 8$.

Слои имеют такие теплофизические и геометрические характеристики: $k_i = 1,61$ Вт/(м·°С) ($i = 1, 3, 5$); $k_i = 0,17$ Вт/(м·°С) ($i = 2, 4$); $h_1 = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $h_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $h_3 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м, $h_4 = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $h_5 = 2 \cdot 10^{-2}$ м. Между первым и вторым слоями размещается пленочный источник тепла мощностью $\bar{q}^1 = 3500$ Вт/м² (рис. 1). Такое его расположение обычно для многослойных стекол с электрообогревом. Коэффициенты конвективного теплообмена и температуру среды следующие: $H_1 = 80$ Вт/(м²·°С), $H_I = 25$ Вт/(м²·°С), $T_n = -20$ °С, $T_b = 20$ °С. На боковой поверхности пластины поддерживается нулевая температура.

На рис. 2 показано изменение температуры T^i и напряжений σ_x^i (сплошная линия), σ_y^i (штриховая линия) по толщине пластины в точке $x = 0,32$ м, $y = 0,16$ м. Видно, что температура принимает максимальные значения на нижней поверхности первого слоя, т. е. слоя, соприкасающегося с пленочным источником тепла. Максимальные по модулю напряжения также возникают на этой поверхности.

Таким образом, разработаны метод и алгоритм решения задач стационарной термоупругости многослойных пластин с пленочным источником тепла, собранных из слоев с различными механическими и геометрическими характеристиками.

Литература

1. Подстригач Я.С., Ломакин В.А., Коляно Ю.М. Термоупругость тел неоднородной структуры.– М.: Наука, 1984.– 368 с.
2. Слесаренко А.П. Математическое моделирование тепловых процессов в телах сложной формы при нестационарных граничных условиях // Пробл. машиностроения.– 2002.– Т. 5, № 4.– С. 72-80.
3. Метод конечных элементов в механике твердых тел / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И. Альтенбаха.– Киев: Вища шк., 1980.– 480 с.

4. Кантор Б.Я., Сметанкина Н.В., Шупиков А.Н. Нестационарная теплопроводность в слоистых пластинах // Вестник Харьк. гос. политех. ун-та. – 2000. – Вып. 116. – С. 73-77.
5. Сметанкина Н.В., Свет Е.В., Шупиков А.Н. Определение температурных полей в пластинах сложной формы // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Тр. 6-й междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. – С. 286-288.
6. Shupikov A.N., Smetankina N.V. Non-stationary vibration of multilayer plates of an uncanonical form. The elastic immersion method // Int. J. Solids Structures. – 2001. – V. 38, N 14. – P. 2271-2290.
7. Сметанкина Н.В., Свет Е.В., Шупиков А.Н. Термонапряженное состояние многослойных пластин // Вестник НТУ «ХПИ». – Динамика и прочность машин. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – Т. 9, № 9. – С. 59-64.

УДК 539.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УПРУГОГО ПОГРУЖЕНИЯ К РАСЧЕТУ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ПЛАНЕ

Сметанкина Н.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

A method to research of multilayer cylindrical shells with complex plan form bending is offered. The method is based on application of boundary integral equations. The strain-stressed state of a five-layer shell is considered.

Применение многослойных оболочек и пластин в качестве элементов конструкций в различных отраслях современной техники обусловлено тем, что они позволяют обеспечить высокую прочность и жесткость конструкции при малом весе, а также улучшенные звуко- и теплоизоляционные характеристики сооружений. В связи с этим большой научный и практический интерес представляет собой разработка методов расчета многослойных пластин и оболочек, имеющих сложную форму в плане.

Для решения этих задач чаще всего применяют методы, основанные на дискретизации рассматриваемой области и ее границы [1, 2]. На аналитическом уровне учитывается геометрия области в методе R-функций [3]. Также аналитический подход к исследованию изгиба пластин и оболочек развивается в работах, посвященных разработке методов граничных интегральных уравнений [4, 5]. Одним из возможных методов решения краевых задач этого класса также является метод упругого погружения. Ранее с применением этого метода были исследованы колебания многослойных пластин [6] и изгиб однослойных незамкнутых цилиндрических оболочек [7] сложной формы в плане. В настоящей работе метод обобщен на случай многослойных оболочек.

Исходная многослойная цилиндрическая оболочка радиусом R , занимающая на координатной поверхности (наружная поверхность первого слоя) область Ω , ограниченную контуром Γ , погружается во вспомогательную охватывающую шарнирно опертую оболочку прямоугольной формы в плане, с тем же пакетом слоев. Это дает возможность представить решение задачи в виде тригонометрических рядов. Вспомогательная оболочка в пределах области Ω нагружена так же, как и заданная оболочка.

Чтобы напряженно-деформированное состояние (НДС) охватывающей оболочки в области Ω было тождественно НДС исходной оболочки, к вспомогательной оболочке по следу контура Γ прилагаются дополнительные компенсирующие нагрузки $P^{comp} = \{p_j^{comp}(x, y)\}$, $(x, y) \in \Gamma$, $j = \overline{1, 2I+3}$ (I – количество изотропных слоев постоянной толщины h_i , $i = \overline{1, I}$).

Поведение исходной и вспомогательной оболочек описывается в рамках уточненной теории первого порядка [8]. При этом перемещения точки i -го слоя определяются выражениями

$$u^i = u + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_x^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_x^i, \quad v^i = v + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_y^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_y^i, \quad w^i = w, \quad \delta_i = \sum_{j=1}^i h_j, \quad \delta_{i-1} \leq z \leq \delta_i, \quad i = \overline{1, I}, \quad (1)$$

где $u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$, $w = w(x, y)$ – перемещения точки координатной плоскости в направлении координатных осей; $\psi_x^i = \psi_x^i(x, y)$, $\psi_y^i = \psi_y^i(x, y)$ – углы поворота нормального элемента в i -м слое вокруг координатных осей. Координата x меняется вдоль образующей, а координата y – вдоль дуги поперечного сечения оболочки.

Уравнение изгиба цилиндрических оболочек, а также соответствующие граничные условия получаются из принципа виртуальной работы. При этом элементарная работа компенсирующих нагрузок на вариациях перемещений на следе контура Γ имеет вид

$$\delta W^{comp} = \sum_{j=1}^{2I+3} \int_0^A \int_0^B \int_{\Gamma} p_j^{comp} \delta u_j \delta(x - x_L, y - y_L) dl dx dy,$$

где A и B – длины сторон охватывающей оболочки; $\mathbf{U} = \{u_i\}$, $u_1 = u(x, y)$, $u_2 = v(x, y)$, $u_3 = w(x, y)$, $u_{3+i} = \psi_x^i(x, y)$, $u_{3+I+i} = \psi_y^i(x, y)$, $i = \overline{1, I}$; $\delta(x - x_L, y - y_L)$ – двумерная дельта-функция Дирака.

Таким образом, задача об изгибе оболочки сложной формы в плане сводится к задаче об изгибе цилиндрической оболочки прямоугольной формы в плане под действием заданных и компенсирующих нагрузок P^{comp} .

Удовлетворение исходным граничным условиям на следе контура Γ приводит к системе интегральных уравнений для определения компенсирующих нагрузок

$$B^T U [P^{comp}(x, y)] = 0, (x, y) \in \Gamma. \quad (2)$$

Вид элементов матрицы B^T зависит от граничных условий на контуре Γ .

Разложение функций перемещений U , заданных и компенсирующих нагрузок в тригонометрические ряды по функциям, удовлетворяющим условиям шарнирного опирания (граничные условия на контуре вспомогательной оболочки), а также разложение в ряд вдоль следа контура Γ функций перемещений, входящих в граничные условия исходной оболочки, и функций компенсирующих нагрузок

$$p_j^{comp}(\varphi) = \sum_{\alpha=1,2} \sum_{\mu=0}^{\infty} p_{j\alpha\mu} b_{\alpha\mu}(\varphi), \quad j = \overline{1, 2I+3}, \quad (3)$$

$$b_{1\mu} = \sin[\mu\gamma(\varphi)], \quad b_{2\mu} = \cos[\mu\gamma(\varphi)], \quad \gamma(\varphi) = 2\pi(\varphi - \varphi_1)/(\varphi_2 - \varphi_1), \quad 0 \leq \gamma(\varphi) \leq 2\pi,$$

позволяет преобразовать систему интегральных уравнений (2) в систему алгебраических уравнений относительно коэффициентов разложения в ряд компенсирующих нагрузок $p_{j\alpha\mu}$. После вычисления компенсирующих нагрузок (3) определяются перемещения в слоях заданной оболочки (1). Напряжения в i -м слое вычисляются по закону Гука.

Рассмотрим изгиб шарнирно опертой пятислойной оболочки под действием нагрузки Q , заданной следующими соотношениями:

$$q_1 = q_2 = q_{3+i} = q_{3+I+i} = 0, \quad i = \overline{1, I}, \quad q_3(x, y) = q_0, \quad (x, y) \in \Omega_q,$$

где Ω_q – круг радиусом r_0 , $r_0 = 0,1$ м, $q_0 = 1$ МПа. Форма оболочки в плане и область приложения нагрузки показаны на рис. 1. Граничные условия имеют вид

$$N_n = \sum_{i=1}^I N_n^i, \quad N_s = \sum_{i=1}^I N_s^i, \quad w = 0, \quad M_n^i = 0, \quad M_s^i = 0,$$

где N_n^i , N_s^i – нормальное растягивающее и касательное усилия; M_n^i , M_s^i – нормальный изгибающий и крутящий моменты в i -м слое.

Слои оболочки следующие геометрические и механические параметры:

$h_1 = h_5 = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $h_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $h_3 = 10^{-2}$ м, $h_4 = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $E_1 = E_3 = E_5 = 6,12 \cdot 10^4$ МПа, $E_2 = E_4 = 2,8 \cdot 10^2$ МПа, $\nu_1 = \nu_3 = \nu_5 = 0,22$, $\nu_2 = \nu_4 = 0,38$. Здесь E_i и ν_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала i -го слоя соответственно.

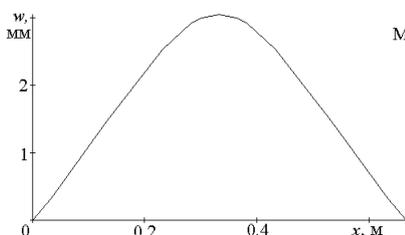


Рис. 1. Форма плана оболочки.

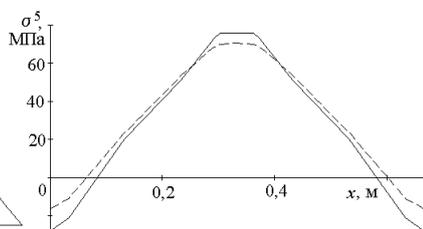


Рис.3. Изменение напряжений в оболочке.

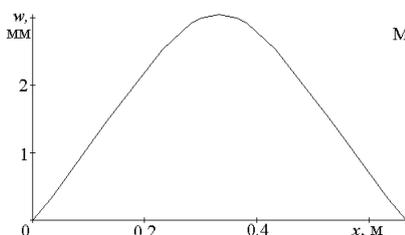


Рис. 2. Изменение прогиба в оболочке.

На рис. 2 и 3 приведено изменение прогиба и напряжений в оболочке вдоль оси $0x$ ($z = \delta_5$, см. (1), $R = 5$ м). На рис. 3 напряжению σ_x^5 отвечает сплошная линия, σ_y^5 – штриховая линия.

Представленный подход дает возможность исследовать изгиб многослойных оболочек сложной формы в плане с разной геометрией

поверхности и различными граничными условиями, а отсутствие дискретизации рассматриваемой области и ее границы упрощает подготовку исходных данных при решении практических задач.

Литература

1. Reddy J.N. Mechanics of Laminated Composite Plates: Theory and Analysis.– Boca Raton: CRC Press, 1997.– 416 p.
2. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов.– М.: Мир, 1987.– 524 с.
3. Рвачев В.Л., Курпа Л.В. Применение теории R-функций к исследованию пластин и оболочек сложной формы // Пробл. машиностроения.– 1998.– Т. 1, № 1.– С. 33-53.
4. Altiero N.J., Sikarskie D.L. A boundary integral method applied to plates of arbitrary plan form // Computers and Structures.– 1978.– V. 9.– P. 163-168.
5. Zielinski A.P. A contour series method applied to shells // Thin-Walled Structures.– 1985.– V. 3.– P. 217-229.
6. Shupikov A.N., Smetankina N.V. Non-stationary vibration of multilayer plates of an uncanonical form. The elastic immersion method // Int. J. Solids Structures.– 2001.– V. 38, N 14.– P. 2271-2290.
7. Сметанкина Н.В. Изгиб цилиндрических оболочек произвольной формы в плане // Наук. вісник будівництва.– Харків: ХДТУБА.– 2001.– Вип. 12.– С. 232-236.
8. Динамика конструкций при воздействии кратковременных нагрузок / Кохманюк С.С., Дмитриев А.С., Шелудько Г.А., Шушиков А.Н., Титарев В.Г., Ляхов А.Н.– Киев: Наук. думка, 1989.– 304 с.

УДК 534.232.001. 11:62.50

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ

Мягкохлеб К.Б.

(г. Харьков, Украина)

In the given job the task of magnification of amplitude of vibration of an armature of an electromagnetic agent of vibration in area behind a resonance is decided (solved), the original circuit (scheme) of a so xy electromagnetic agent of vibration also is analyzed.

Для определения усталостной прочности материалов, конструктивных элементов и изделий в целом в эксперименте применяются вибрационные испытательные стенды различных видов – механические, электродинамические, электромагнитные. Электромагнитные стенды, по сравнению с другими стендами, отличаются более высокой надежностью, низким уровнем образования шума, простотой производства и эксплуатации. По сравнению с механическими электромагнитные стенды позволяют осуществлять испытания изделий в более широком диапазоне частот, а по сравнению с электродинамическими стендами – обладают значительно большей мощностью при меньших габаритах [1–4].

В электромагнитных возбудителях вибрации (ЭМВ), применяемых в испытательных стендах, амплитуда вибрации якоря резко уменьшается после резонансной частоты, что негативно влияет на качество проведения вибрационных испытаний изделий различного назначения [2, 5, 6]. Для исключения данного недостатка предлагается включение в ЭМВ дополнительной обмотки постоянного тока (обмотки подмагничивания). В литературе [5,6] известно применение обмоток подмагничивания в ЭМВ, но для других целей и при другом выполнении. Поэтому предлагаемые в статье принципы и результаты являются новыми.

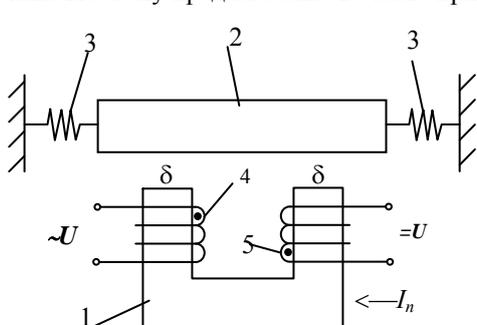


Рис. 1.

Схема ЭМВ изображена на рис.1, где 1 – магнитопровод; 2 – якорь; 3 – пружины; 4– обмотка переменного тока; 5– обмотка постоянного тока (подмагничивания); δ– воздушный зазор; ~U, U_{π} и i_{π} , i_{π} – напряжения и токи переменные и постоянные соответственно; *– начало намотки обмоток 4 и 5.

Из схемы ЭМВ видно, что в обмотку 5 трансформируется ЭДС индукции, обусловленная изменением магнитного потока Φ , создаваемого переменным током i , идущим по обмотке 4. Так как обмотка 5 замкнута на сопротивление источника напряжения U_{π} , то по цепи подмагничивания, кроме тока подмагничивания i_{π} , протекает переменный трансформируемый ток i_{TP} , который в принципе для ЭМВ не нужен.

Покажем возможность уменьшения i_{TP} . Для этого запишем уравнение электрической цепи подмагничивания

$$U_{\pi} - W_{\pi} \frac{d\Phi}{dt} = R_{\pi} i_2, \quad (1)$$

где W_{π} – число витков обмотки 5; Φ – магнитный поток в ЭМВ, создаваемый током обмотки 4 i ; R_{π} – активное сопротивление цепи подмагничивания; $i_2 = i + I_{\pi}$ – суммарный ток цепи подмагничивания.

Из уравнения (1) видно, что ЭДС индукции $W_{\pi} \frac{d\Phi}{dt}$ уменьшить нельзя, так как при возбуждении вибраций якоря 2 необходимо увеличивать тяговое усилие F , которое является функцией магнитного потока Φ . Но ток i_{TP} необходимо уменьшить так, чтобы $I_{\pi} > i_{TP}$. Для этого надо, во-первых, увеличить сопротивление R_{π} и, во-вторых, последовательно с сопротивлением R_{π} включить дроссель с индуктивностью L . Тогда величина тока i_{TP} будет определяться соотношением

$$i_{TP} = \frac{W \frac{d\Phi}{dt}}{\sqrt{R_{\pi}^2 + (\omega L)^2}}. \quad (2)$$

Как видно из выражения (2) при больших величинах R_{π} и L , а также с увеличением частоты ω переменного тока i трансформируемый ток i_{TP} уменьшается. В этом случае при большом R_{π} источник U_{π} становится источником тока I_{π} . Далее перейдем к формированию тока подмагничивания I_{π} , пропорционального частоте ω путем изменения воздушного зазора δ . Уравнение движения якоря 2 под действием электромагнитного тягового усилия F_{Σ} записывается в виде

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = F_{\Sigma}, \quad (3)$$

где m , b , c – масса, коэффициенты демпфирования и жесткости якоря совместно с изделием на нем соответственно; x – перемещение якоря; t – время.

Если переменное напряжение $U=0$, а $U_{\pi} \neq 0$, то тогда $\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dx}{dt} = 0$, $x \neq 0$ и из (3) получаем

$$x_0 = \frac{F_{II}}{c}, \tag{4}$$

где F_{II} – тяговое усилие, создаваемое подмагничиванием. Оно равно [5, 6]

$$F_{II} = \frac{\Phi_{II}^2}{\mu_0 S}, \tag{5}$$

где Φ_{II} – постоянный магнитный поток в ЭВМ; μ_0 – магнитная проницаемость воздуха; S – площадь поперечного сечения у полюсов магнитопровода 1.

На основании закона полного тока [6] $\Phi_{II} = I_{II} W_{II} G_{II}$, $G_{II} = \frac{\mu_0 S}{2\delta}$, где G_{II} – магнитная проводимость ЭВМ; W_{II} – число витков обмотки 5, тогда (5) записывается следующим образом

$$F_{II} = \left(\frac{I_{II} W_{II}}{2\delta} \right)^2 \mu_0 S. \tag{6}$$

Используя (4), из (6) получим

$$x_0 = \left(\frac{I_{II} W_{II}}{2\delta} \right)^2 \frac{\mu_0 S}{c}. \tag{7}$$

На величину x_0 , описываемую (7), изменяется зазор δ под действием подмагничивания. Поэтому для данного случая обозначим $x_0 = \Delta\delta$. На основании уравнения (3) величина

$$x = \frac{F_{\Sigma}}{m\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + b^2\omega^2}}, \tag{8}$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m} - \frac{b^2}{2}}$ – собственная частота колебательной системы якоря 2.

Для нашего исследования важным является рассмотрение зарезонансной обмотки колебаний якоря 2, то есть когда $\omega \gg \omega_0$ и если демпфирование малозначительно, что обуславливает

$$x = \frac{F_{\Sigma}}{m\omega^2}. \tag{9}$$

В соответствии с поставленной задачей с учетом (7) и (9), при наличии $\Delta\delta$ и $U=0$ целесообразно, чтобы

$$I_{II} = \frac{2\delta}{W_{II}} \sqrt{\frac{xc}{\mu_0 S}} = \frac{2\delta}{W_{II}} \sqrt{\frac{F_{II} c}{\mu_0 m \omega^2 S}}, \tag{10}$$

откуда путем подстановки вместо $F_{II} = \frac{\Phi_{II}^2}{\mu_0 S}$, $\Phi_{II} = I_{II} W_{II} G_{\Delta\delta}$, $G_{\Delta\delta} = \frac{\mu_0 S}{2(\delta - \Delta\delta)}$, получим соотношения

$$\Delta\delta = \delta \left(1 - \frac{\omega_0}{\omega} \right). \tag{11}$$

На основании (11) можно сделать вывод, что в зарезонансной области при $\omega \gg \omega_0$ $\Delta\delta \approx \delta$, то есть с увеличением частоты надо увеличивать $\Delta\delta$. Поэтому в цепь обмотки подмагничивания необходимо включить блок, увеличивающий ток подмагничивания в прямой зависимости от частоты ω переменного тока i .

Особый интерес представляют двухкоординатные электромагнитные вибровозбудители с общими статором и катушкой. На рис. 2 приведена схема предлагаемого ЭВМ, где 1 – статор (магнитопровод), 2 – якорь, 3, 4 –

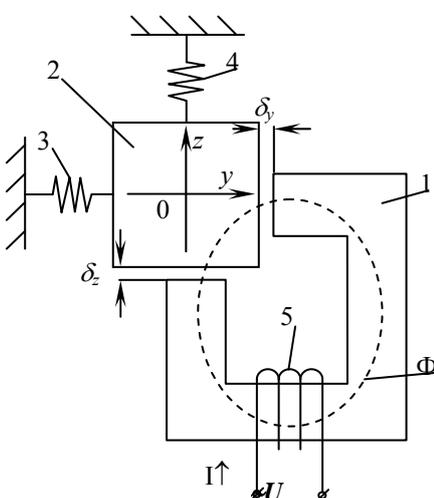


Рис. 2. Двухкоординатный ЭВМ.

пружины вдоль осей координат y и z соответственно, 5 – электрическая катушка, I – электрический ток, δ_y, δ_z – воздушные зазоры между якорем и полюсами статора вдоль осей y и z соответственно, a – размер стороны квадратного сечения полюса статора, U – переменное электрическое напряжение на входе катушки 5, Φ – магнитный поток.

Уравнения движения якоря записывают в виде

$$\begin{cases} m \frac{d^2 y}{dt^2} + b_y \frac{dy}{dt} + (c_y + c_{zy})y = F_y \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} + b_z \frac{dz}{dt} + (c_z + c_{yz})z = F_z \end{cases}, \tag{12}$$

где m – масса якоря с грузом (ЭВМ является испытательным вибростендом); y, z – координаты перемещения якоря; b_y, b_z – коэффициенты демпфирования вдоль осей y и z соответственно; c_y, c_z – коэффициенты жесткости пружин 3 и 4 соответственно; c_{yz}, c_{zy} – коэффициенты жесткости пружин 3 и 4 в перпендикулярных направлениях y и z соответственно; F_y, F_z – тяговые усилия ЭВМ в воздушных

зазорах вдоль осей y и z соответственно; t – время.

Из уравнений (12) установившиеся перемещения y и z определяются следующими выражениями

$$\begin{cases} y = \frac{F_y}{m\sqrt{(\omega^2 - \omega_{01}^2)^2 + 4h_y^2\omega^2}} \\ z = \frac{F_z}{m\sqrt{(\omega^2 - \omega_{02}^2)^2 + 4h_z^2\omega^2}} \end{cases}, \quad (13)$$

где ω – круговая частота задающего сигнала $U(t) = U_m \sin \omega t$,

$$\omega_{01} = \sqrt{\frac{c_y + c_{zy}}{m} + 2h_y^2}; \quad \omega_{02} = \sqrt{\frac{c_z + c_{yz}}{m} + 2h_z^2}; \quad h_y = \frac{b_y}{m}; \quad h_z = \frac{b_z}{m};$$

ω_{01} , ω_{02} – резонансные частоты колебаний якоря.

Так как перемещения y и z ортогональны, то направление совместного вектора перемещения якоря определяется соотношением

$$\varphi = \arctg \frac{F_y}{F_z} \sqrt{\frac{(\omega^2 - \omega_{02}^2)^2 + 4h_z^2\omega^2}{(\omega^2 - \omega_{01}^2)^2 + 4h_y^2\omega^2}}. \quad (14)$$

Из выражения (14) видно, что угол φ может меняться в зависимости от соотношения F_y/F_z и от величин ω_{01} , ω_{02} , h_y , h_z и частоты ω . Если же $h_y = h_z$ и $\omega_{01} = \omega_{02}$, то $\varphi = \arctg \frac{F_y}{F_z}$. При $\delta_y = \delta_z$, $F_y = F_z$, $\varphi = \frac{\pi}{4}$. В принципе

$\varphi = \arctg \frac{\delta_y}{\delta_z}$. Таким образом, рассмотренная схема ЭМВ эффективна для возбуждения плоскостных (двухкоординатных) вибраций и при использовании нескольких ЭМВ — пространственных (трехкоординатных) вибраций.

Литература

1. Любчик М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов.—М.: Энергия, 1974.—392с.
2. Хвингия М.В., Ниношвили Б.И. Электромагнитные вибраторы с регулируемой собственной частотой.—Тбилиси: Мецниереба, 1971. – 223 с.
3. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Методы проектирования электромагнитных вибровозбудителей.—К.: Наук. Думка, 1989.—206с.
4. Вибрации в технике. Том 4. Под ред. д.т.н. проф. Э.Э. Лавендела – М.: Машиностроение, 1981.— 510 с.
5. Низкочастотные электровибрационные машины. Под ред. проф. К.М. Рагульскаса— Л.: Машиностроение, 1989.— 96 с.
6. Клименко Б.В. Форсированные электромагнитные системы. М.: Энергоатомиздат, 1989.— 160 с.

УДК 621. 81, 620.539.2

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА КОНТАКТА В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ ПО ВИБРАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Белых В.И., канд. техн. наук, Федоров А. И., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In job the technique of an estimation of an angular variation of contact in frictionless bearings while in service on vibration performances is considered. The different variants of definition of an angular variation of contact are offered.

Одним из важных показателей надежности машин является долговечность, то есть сохранение работоспособности до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Проведение плановых и предупредительных ремонтов по фактическому состоянию позволяет обеспечить полное использование ресурса узлов машин, снизить потребление запасных частей, а также сэкономить время и средства на проведение ремонтных работ [1].

Имеются различные факторы, влияющие на долговечность узлов машин, однако основным является величина действующей в процессе эксплуатации приведенной нагрузки.

Приведенная нагрузка P для радиальных шариковых подшипников и радиально-упорных шариковых и роликовых подшипников согласно [2] находится из выражения

$$P = (XVF_r + YF_a)K_\delta K_T, \quad (1)$$

где F_r и F_a - соответственно радиальные и осевые силы; X , Y - коэффициенты радиальной и осевой нагрузок, которые зависят от типа подшипника; V - коэффициент вращения, равный 1 при вращении внутреннего кольца и 1,2 в случае вращения наружного кольца; K_δ - коэффициент безопасности, учитывающий характер нагрузки;

K_T - температурный коэффициент.

Согласно [2] коэффициенты X и Y зависят от имеющегося в подшипнике угла контакта α для радиальных и радиально-упорных шариковых и роликовых подшипников. Кроме этого, величины окружных F_{ij} , радиальных F_{rij} и осевых F_{aij} усилий также зависят от углов контакта подшипников.

В процессе эксплуатации в подшипнике качения изнашиваются дорожки качения, а также тела качения, что приводит к изменению угла контакта и, следовательно, первоначальная расчетная долговечность подшипника будет не соответствовать фактическому значению и требует корректировки. Таким образом, определение текущего значения угла контакта в подшипнике качения является весьма актуальной задачей. Это особенно важно при прогнозировании срока дальнейшей эксплуатации данного подшипника при проведении плановых ремонтов оборудования.

Рассмотрим вопрос оценки изменения угла контакта по вибрационным характеристикам.

Как известно [3] в спектре вибрации подшипникового узла имеются составляющие, соответствующие частотам вращения тел качения и сепаратора. На основании анализа изменения этих частот можно определить изменение угла контакта в подшипнике качения в процессе эксплуатации.

Если в процессе эксплуатации происходит износ дорожек качения, но средний диаметр $d_m = const$, и диаметр тел качения $D = const$, а угол контакта α изменяется на величину $\Delta\alpha$ и в результате исследования вибрационных характеристик подшипника частота вращения сепаратора изменилась на Δf_C , то есть

$$f_C^* = f_{C_0} + \Delta f_C, \quad (2)$$

где f_C^* - текущая частота; f_{C_0} - начальная частота, а на основании [4] начальная частота вращения сепаратора равна

$$f_{C_0} = \frac{f_g}{2} \left(1 - \frac{D}{d_m} \cos \alpha \right), \quad (3)$$

где f_g - частота вращения вала; D - диаметр тел качения, то текущая частота вращения сепаратора будет равна

$$f_{C_0} + \Delta f_C = \frac{f_g}{2} \left[1 - \frac{D}{d_m} \cos(\alpha + \Delta\alpha) \right]. \quad (4)$$

Тогда новое значение угла контакта α^* равно

$$\alpha^* = \alpha + \Delta\alpha = \arccos \left[\frac{d_m}{D} \left(1 - \frac{2(f_{C_0} + \Delta f_C)}{f_g} \right) \right]. \quad (5)$$

В случае, если в процессе эксплуатации происходит износ дорожек качения, но средний диаметр $d_m = const$, а диаметр тел качения уменьшается на ΔD и угол контакта α изменяется на величину $\Delta\alpha$, то на основании исследования изменения частоты вращения сепаратора, получим

$$f_{C_0} + \Delta f_C = \frac{f_g}{2} \left[1 - \frac{D - \Delta D}{d_m} \cos(\alpha + \Delta\alpha) \right], \quad (6)$$

откуда

$$D - \Delta D = \left[1 - \frac{2(f_{C_0} + \Delta f_C)}{f_g} \right] \frac{d_m}{\cos \alpha + \Delta\alpha}. \quad (7)$$

На основании исследования изменения частоты вращения тел качения f_{uu} , получим

$$f_{uu} + \Delta f_{uu} = \frac{f_g}{2} \left[\frac{d_m}{D - \Delta D} - \frac{D - \Delta D}{d_m} \cos^2(\alpha + \Delta\alpha) \right] \quad (8)$$

или с учетом выражения (7)

$$f_{uu} + \Delta f_{uu} = 2 \cos(\alpha + \Delta\alpha) \left[\frac{f_g (f_{C_0} + \Delta f_C) - (f_{C_0} + \Delta f_C)^2}{f_g - 2(f_{C_0} + \Delta f_C)} \right]. \quad (9)$$

Откуда

$$\alpha^* = \alpha + \Delta\alpha = \arccos \left[\frac{(f_{uu} + \Delta f_{uu}) [f_g - 2(f_{C_0} + \Delta f_C)]}{2 [f_g (f_{C_0} + \Delta f_C) - (f_{C_0} + \Delta f_C)^2]} \right]. \quad (10)$$

Если в спектре вибрации затруднено определение изменения информативных частот, то необходимо первоначально найти приближенное значение изменения угла контакта. Для этого рассмотрим схему размещения двух вибропреобразователей (рис. 1) на корпусе машины вблизи подшипника качения.

Вибропреобразователь ВП1 и ВП2 устанавливаются так, чтобы их оси чувствительности совпали с осями OZ и OY соответственно [3].

Сигналы вибропреобразователей ВП1 и ВП2 для неизношенного подшипника можно представить в виде

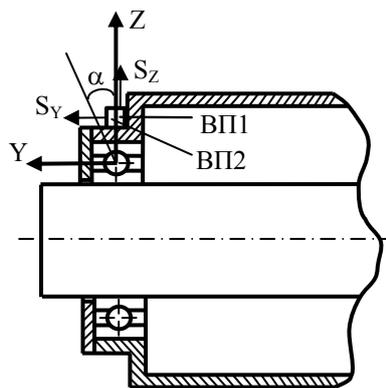


Рис. 1 Схема размещения вибропреобразователей ВП1 и ВП2

причем

$$\begin{aligned} U_{ВП1} &= U_1 + U_{ПЗ} \\ U_{ВП2} &= U_2 + U_{ПЗ} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \operatorname{ctg} \alpha \quad (12)$$

Для приближенного определения степени изменения угла контакта примем, что

$$\frac{U_{ВП1}}{U_{ВП2}} = k_\alpha \operatorname{ctg} \alpha, \quad (13)$$

где k_α - коэффициент пропорциональности, который принимаем неизменным в процессе эксплуатации

$$k_\alpha = \frac{U_{\text{ен1}}^*}{U_{\text{ен2}}^* \cdot \operatorname{ctg} \alpha} \quad (14)$$

Тогда для сигналов вибропреобразователей ВП1 и ВП2 $U_{\text{ен1}}^*$ и $U_{\text{ен2}}^*$, полученных при последующих измерениях, будем иметь

$$\frac{U_{\text{ен1}}^*}{U_{\text{ен2}}^*} = k_\alpha \operatorname{ctg} \alpha_n^* \quad (15)$$

или

$$\alpha_n^* = \operatorname{arccctg} \frac{U_{\text{ен1}}^*}{U_{\text{ен2}}^* \cdot k_\alpha}, \quad (16)$$

где α_n^* - новое значение угла контакта.

На основании приближенного расчета величины угла контакта α_n^* определяются новые значения информативных частот, которые уточняются по спектру вибрации, а затем по ним вычисляется точное значение изменения угла контакта α^* (согласно выражениям (5) и (10)).

По полученным текущим значениям угла контакта уточняются коэффициенты X и Y и рассчитываются величины окружных F_{ij} , радиальных F_{rj} и осевых F_{aj} усилий в выражении (1), а затем находят новое значение приведенных нагрузок для расчета долговечности.

Таким образом, предлагаемая методика оценки изменения угла контакта в подшипниках качения по вибрационным характеристикам позволяет учитывать влияние условий эксплуатации на работу подшипника и корректировать сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

Литература

1. Костецкий Б.И. Надежность и долговечность машин / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бернадский, А.К. Караулов. - К.: Техніка, 1975. - 408 с.
2. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 с.
3. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, И.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. Под ред. М.Д. Генкина. - М.: Наука, 1984. - 420 с.

УДК 621.822.5

РАСЧЕТ ОПОРНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ С САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИМИСЯ СЕГМЕНТАМИ

Столбовой А.С., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The method of account of a basic block with sliding segments is stated. The boundaries of curvatures of working surfaces operations, guaranteeing stability, of the bearing are specified.

В ряде конструкций опор шпинделей металлорежущих станков и валов энергетических установок используются опорные подшипники с самоустанавливающимися сегментами, которые компенсируют перекосы валов, улучшают их центровку и повышают устойчивость работы.

Схема многосегментного опорного подшипника приведена на рисунке.

Расчеты несущей способности, потерь от трения и температуры таких опор базируются на решении уравнения Рейнольдса для единичных сегментов, а интегральные характеристики слагаются из полученных данных.

Экспериментальные исследования показали, что на работоспособность опорных подшипников в значительной степени сказывается взаимное влияние сегментов, перенос тепла между ними и общая прокачка смазки, что нашло отражение в предлагаемой методике расчета.

Движение смазки в зазоре между валом и рабочей поверхностью сегмента описывается уравнением Рейнольдса в виде:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\xi^3 \frac{\partial p}{\partial \varphi} \right) + D_L^2 \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\xi^3 \frac{\partial p}{\partial \gamma} \right) = \frac{\partial \xi}{\partial \varphi} .$$

Безразмерные параметры давления p , толщины смазочного слоя ξ , угловой координаты φ , осевой координаты γ и относительной длины сегмента D_L определяются из соотношений:

$$p = p_u \cdot \frac{\delta_0^2}{6\mu_t U r \theta}, \quad \xi = h_u / \delta_0, \quad \varphi = \vartheta / \theta, \quad \gamma = \bar{z} / b, \quad D_L = \theta \cdot r / b .$$

Здесь p_u — давление смазки, μ_t — динамическая вязкость смазки, U — окружная скорость вала, δ_0 — монтажный радиальный зазор, r — радиус вала, θ — центральный угол сегмента, ϑ и \bar{z} — угловая и осевая координаты. Толщина смазочного слоя для каждого u -го сегмента:

$$h_u = \delta + e_u \cos(\theta_{Bu} + \vartheta),$$

где $\delta = r_c - r$ — разница в радиусах кривизны поверхностей сегмента и вала, θ_{Bu} — угол между линией центров и входной кромкой сегмента, e_u — эксцентриситет u -го сегмента.

Если $\delta \neq h_{Au}$, $\delta \neq h_{cu}$ и $\delta \neq h_{Bu}$, то угол θ_{Bu} можно определить из соотношения

$$\theta_{Bu} = \arctg \frac{\alpha'_u \cos \theta - \cos \vartheta_{cp}}{\alpha'_u \sin \theta - \sin \vartheta_{cp}},$$

где $\alpha'_u = \frac{h_{cu} - \delta}{\alpha_u h_{cu} - \delta}$ а $\alpha_u = \frac{h_{Au}}{h_{Cu}}$ может изменяться от 0 до 1.

Меняя параметр α_u , который характеризует наклон сегментов, можно найти положение, когда равнодействующая давления будет проходить через точку опоры C .

Эксцентриситет для u -го сегмента

$$e_u = \frac{h_{cu} - \delta}{\cos(\theta_{Bu} + \vartheta_{cp})},$$

Толщина смазочного слоя в точке качания рабочей поверхности сегмента

$$h_{cu} = \delta_0 + e_0 \cos(\beta_u + \theta_0),$$

где e_0 — общий эксцентриситет вала; β_u — угол установки сегмента; θ_0 — угол поворота оси вала относительно оси подшипника.

Частные случаи, когда $\delta = h_{Au}$, $\delta = h_{cu}$, $\delta = h_{Bu}$, рассматриваются особо. Давления на границах можно принять равными 0.

Постоянные граничные условия всегда соблюдаются при наличии конфузурных зазоров между валом и сегментами. При некоторых соотношениях $\frac{\delta}{\delta_0}$ на отдельных участках рабочих поверхностей могут появиться

диффузные зазоры, что приведет к нарушению потока смазки и изменению границы несущего слоя. На разгруженных сегментах наличие диффузных зазоров со стороны входных кромок может привести к опрокидыванию опорного сегмента, что нежелательно.

Условия сохранения конфузурного зазора для разгруженных и нагруженных сегментов:

$$\frac{\delta}{\delta_0} \geq (1 + \chi_0 \cdot \cos \theta_0) \cdot \frac{\cos \theta - \alpha_u \cdot \cos \vartheta_{cp}}{\cos \theta - \cos \vartheta_{cp}};$$

$$\frac{\delta}{\delta_0} \leq (1 - \chi_0 \cdot \cos \theta_0) \cdot \frac{1 - \alpha_u \cos(\theta - \vartheta_{cp})}{1 - \cos(\theta - \vartheta_{cp})}.$$

Решение уравнения движения смазки для рассматриваемого подшипника осуществляется численно на ЭВМ с помощью метода конечных разностей. В результате расчета определяется давление смазки на рабочей поверхности сегмента и остальные рабочие характеристики.

Несущая способность $F_u = \frac{\mu_t U l^2 b}{\delta_0^2} \cdot \phi_{Fu}$,

где $\phi_{Fu} = \sqrt{\phi_{Fxu}^2 + \phi_{Fyu}^2}$, $\phi_{Fxu} = 6 \int_0^1 \int_0^1 p_{i,j} \sin(\varphi_{i,j} \cdot \theta - 0,5 \cdot \theta) d\varphi d\gamma$, $\phi_{Fyu} = 6 \int_0^1 \int_0^1 p_{i,j} \cos(\varphi_{i,j} \cdot \theta - 0,5 \cdot \theta) d\varphi d\gamma$.

$$\text{Момент трения } T_u = \frac{\mu_t U l b r}{\delta_0} \cdot \phi_{Nu},$$

$$\text{где } \phi_{Nu} = 3(P_{i=k,j} \xi_{i=k,j} - P_{i=0,j} \xi_{i=0,j}) - \int_0^1 \int_0^1 \left[3P_{i,j} \left(\frac{d\xi}{d\varphi} \right)_{i,j} - \frac{1}{\xi_{i,j}} \right] d\varphi d\gamma.$$

Расходы через входную В, выходную А и торцовую Т кромки:

$$Q_{Bu} = Ub \delta_0 \phi_{Bu} \quad ;$$

$$Q_{Au} = Ub \delta_0 \phi_{Au} \quad ;$$

$$Q_{Tu} = Ub \delta_0 \phi_{Tu} \quad ;$$

$$\text{где } \phi_{Au} = 0,5 \cdot \xi_{i=\chi,j} \left[1 - \xi_{i=\chi,j}^2 \int_0^1 \left(\frac{\partial p}{\partial \varphi} \right)_{i=\chi,j} \cdot d\gamma \right] \quad ; \quad \phi_{Bu} = 0,5 \cdot \xi_{i=0,j} \left[1 - \xi_{i=0,j}^2 \int_0^1 \left(\frac{\partial p}{\partial \varphi} \right)_{i=0,j} \cdot d\gamma \right] \quad ;$$

$$\phi_{Tu} = -\frac{D_L^2}{2} \int_0^1 \xi_{i,j=\chi}^3 \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \gamma} \right)_{i,j=\chi} d\varphi \quad .$$

$$\text{Координата равнодействующей давления } \mathcal{G}_c = \frac{\theta}{2} + \arctg \frac{\phi_{F_x u}}{\phi_{F_y u}} \quad .$$

В этих формулах: $i = \varphi / H$, $j = \gamma / H$ — координаты сетки с шагом H , изменяющиеся от 0 до k .

Среднюю температуру масла можно определить, исходя из зависимости

$$t_u = t_0 + 0,5 \cdot \Delta t_u \quad ,$$

$$\text{где } \Delta t_u = \frac{F_u}{bl} \cdot \frac{\phi_{tu}}{\gamma_t \cdot c_t} \quad , \quad c_t \text{ и } \rho_t \text{ — удельная теплоемкость и плотность смазки.}$$

Безразмерный коэффициент нагрева определяется из соотношения

$$\phi_{tu} = \frac{\phi_{Nu}}{\phi_{Fu} \cdot \phi_{mu}} \quad .$$

Расчеты показывают, что на разгруженном сегменте, располагающемся со стороны приложения нагрузки, температура на входной кромке практически равна температуре подаваемой смазки t_0 . С этого сегмента следует начинать расчет. Температуру на входной кромке каждого последующего сегмента находим из уравнения баланса тепла, поступающего в маслораспределительный канал

$$t_{Bu} = t_0 + \frac{Q_{A(u-1)} \cdot (t_{A(u-1)} - t_0) + Q_{T(u-1)} \cdot (t_{m(u-1)} - t_0)}{Q + Q_{Bu}} \quad .$$

В это уравнение входит Q — среднее количество смазки, вытекающее из одного канала и обтекающее сегмент с внешней стороны.

Расчеты показали, что при общей прокачке смазки через подшипник Q_0 по каждому каналу проходит среднее количество смазки

$$Q = \frac{Q_0}{z} - \frac{\delta_0}{h_{c1}} Q_{T1} \quad .$$

Определив рабочие характеристики на всех сегментах, найдем основные эксплуатационные параметры всего подшипника.

Несущая способность подшипника, имеющего z сегментов,

$$R = \sqrt{R_B^2 + R_C^2}$$

$$\text{где } R_C = \sum_{u=1}^{u=z} F_u \cdot \sin \beta_u \quad ; \quad R_B = \sum_{u=1}^{u=z} F_u \cdot \cos \beta_u \quad ;$$

$$\text{Момент трения } T = \sum_{u=1}^{u=z} T_u \quad . \quad \text{Угол отклонения равнодействующей нагрузки } \theta_R = \arctg \frac{R_C}{R_B} \quad .$$

Расчеты показывают, что для каждого подшипника существует оптимальная прокачки смазывающей жидкости. При малых значениях расходов происходит циркуляция масла внутри подшипника, что приводит к резкому росту общего температурного уровня. Увеличение количества прокачиваемого масла приводит к снижению температуры и стабилизации потерь от трения. Увеличение прокачки сверх оптимального значения практически не снижает температуру рабочих поверхностей, но увеличивает насосные потери.

Исследование зависимостей рабочих характеристик подшипника от угла установки ребра качания показывает, что для различных кривизн рабочих поверхностей существует оптимальный диапазон расположения опоры. Приближение точки опоры С к середине сегмента приводит к росту общего эксцентриситета, сближению рабочих поверхностей и росту температуры, а смещение в сторону выходной кромки раскрывает конфузальный зазор, увеличивает расходы смазывающей жидкости, и снижает потери от сил трения с одновременным уменьше-

нием несущей способности и коэффициента трения. Температурные и силовые деформации, имеющие место в работающих опорах, увеличивают радиус кривизны рабочих поверхностей, что влияет на несущую способность подшипника.

Поворот центра вала относительно координатной оси, связанный с направлением действия нагрузки, влияет на несущую способность опоры, определяемую минимальной толщиной смазочного слоя, и жесткость опорного узла. При направлении нагрузки между сегментами нагрузочная способность возрастает с одновременным увеличением смещения центра вала и снижением жесткости опорного узла.

Изложенная методика расчета позволяет исследовать рабочие характеристики подшипников и повышает точность определения расчетных параметров гидродинамических опор.

УДК 621.822.84

РОЛИКОПОДШИПНИКИ ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С ПОЛИАМИДНЫМИ СЕПАРИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Гайдамака А.В., канд. техн. наук, Наумов А.И., Щокин В.М., Дзюбенко Е.А.

(г. Харьков, Украина)

The article presents the results of experimental investigations of capacity for work of experienced roller-bearings with increased carrying capacity, with polyamid separating elements.

Опыт эксплуатации подшипников качения в тяжелых режимах эксплуатации показывает, что основными видами их повреждений являются контактно – усталостное разрушение поверхностей качения колец и усталостное разрушение сепараторов [1].

Среди известных способов повышения грузоподъемности и долговечности подшипников наиболее простым и эффективным является увеличение числа тел качения за счет изменения конструкции и материала сепаратора при неизменных остальных типовых деталях. В этой связи разработаны два варианта конструкций полиамидных сепарирующих элементов взамен металлического сепаратора [2], [3]. Компактная конструкция сепарирующего элемента позволяет разместить в подшипнике большее число тел качения и тем самым повысить его грузоподъемность. Например, для подшипника типа 2726 число роликов увеличено с 14 до 16, что дало возможность повысить его динамическую грузоподъемность на 12 %.



Рис.1.



Рис.2.

Геометрические параметры сепарирующих элементов разрабатывались с учетом обеспечения необходимой прочности и жесткости, создания наилучших условий смазки, сборки, разборки и, при необходимости, ремонта подшипника.

Первый вариант конструкции (рис.1) - несвязанные между собой сепарирующие элементы [2]. Они непосредственно контактируют с боковой поверхностью роликов своими цилиндрическими поверхностями. Для нормальной работы подшипника с такими сепарирующими элементами необходимо предусмотреть минимальный боковой зазор между одним из элементов и роликом, когда остальные ролики и элементы прижаты друг к другу. Максимально допустимый боковой зазор определяется из условия невыпадения комплекта роликов и сепарирующих элементов из наружного кольца при снятом внутреннем кольце подшипника.

Второй вариант конструкции (рис.2)-связанные торцевыми выступами между собой сепарирующие элементы [3]. Пара сепарирующих элементов образует окно в котором ролик находится в свободном состоянии (не обжимается элементами) с некоторым боковым зазором. Комплект таких сепарирующих элементов напоминает массивную конструкцию сепаратора, разрезанную на части посередине каждого окна.



Рис.3.

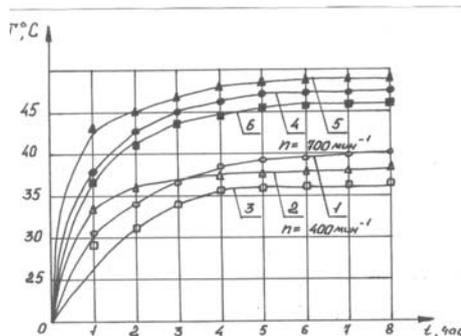


Рис.4. Изменение во времени температуры подшипников: 1,4 – латунный сепаратор; 2,5 – несвязанные сепарирующие элементы; 3,6 – связанные сепарирующие элементы.

Оценка работоспособности предложенных подшипников проведена путем сравнительных испытаний с типовым подшипником на специальном стенде, показанном на рис.3[4]. В основу методики сравнительных испытаний положено исследование температуры подшипника до установившегося режима тепловыделения в

процессе его работы при комбинированном (радиальном и осевом) нагружении. Температуру подшипника измеряли в зоне нагружения подшипника при помощи электромеханического термометра с ценой деления 1°C . Результаты измерений приведены на рис.4 в виде графиков изменения температуры.

Анализ результатов испытаний опытных подшипников повышенной грузоподъемности показывает, что их работоспособность по уровню установившегося тепловыделения при частоте вращения $n=400 \text{ мин}^{-1}$ не хуже типовых. С повышением частоты вращения $n=700 \text{ мин}^{-1}$ опытный подшипник с несвязанными элементами по критерию тепловыделения уступает типовому.

Таким образом, подшипники качения с полиамидными сепарирующими элементами работоспособны и могут быть использованы с наибольшей эффективностью при невысоких скоростях вращения вала (до 400 мин^{-1}) и ограниченной температуре окружающей среды (до 90°C).

Литература

1. Комиссар А.Г. Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации : Справочник .- М : Машиностроение , - 1987 , - 384 с .
2. Сепаратор подшипника качения : А.с. 1488623 СССР , МКИ F 16 C 33/46. В.Г. Андриевский , А.В. Гайдамака ,
3. Б.А. Лагутин , С.Г. Иванов , Б.А. Яхин (СССР). Оpubл. 23.06.89-Бюл. № 23-4с.
4. Сепаратор роликоподшипника: А. С. 1626102 СССР , МКИ G 01 M 13/04. В.Г. Андриевский , А.В. Гайдамака , Б.А. Лагутин , С.Г. Иванов , Б.А. Яхин. (СССР) . Оpubл. 07.02.91-Бюл.№5-3с.
5. Стенд для моделирования силового нагружения буксового роликового подшипника : А.С. №1444631 СССР , МКИ G 01 M 13/04 И.Г. Андриевский , А.В. Гайдамака (СССР) . Оpubл. 15.12.88 –Бюл.№46-5с.

УДК 62.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРЦОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДШИПНИКА В ПАРЕ ТРЕНИЯ ТОРЦОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

Музыкин Ю.Д., канд. тех. наук, Ващук Р.В., Щокин В.М.

(г. Харьков, Украина)

The method of theory of probability mathematical statistic shows the possibility of use of end surface of revolving of the bearing as the element of friction pair of and seal.

Как показывает статистика, 90% случаев разрушения подшипниковых узлов вызвано неудовлетворительной работой уплотнений. [1] Наиболее часто эта тенденция проявляется в машинах эксплуатируемых на открытом воздухе, когда наблюдаются значительные колебания температуры, влажности и запыленности окружающей среды. Поэтому для работы в таких условиях наиболее перспективными следует признать торцовые уплотнения, которые обладают высокой степенью герметичности, надежности и долговечности. Эффективность их применения для герметизации подшипниковых узлов существенно возрастает, если удастся использовать в качестве вращающегося кольца пары трения торцовую поверхность внутреннего кольца подшипника изготовленного из стали ШХ9 либо ШХ15 [2,3]

Для реализации данного условия, торцовая поверхность внутреннего кольца подшипника должна отвечать следующим требованиям: неплоскостность $0,9 \dots 1,5 \text{ мкм}$., шероховатость $0,16 \dots 0,32 \text{ мкм}$., торцовое биение относительно оси $0,01 \dots 0,015 \text{ мм}$., твердость HRC 55-60. При использовании в качестве материала ответного кольца – бронза Бр.ОСН 10-2-3, можно получить пару трения торцового уплотнения, обладающего высокой прирабатываемостью и стойкостью к воздействию указанных условий работы. Так как значения данных параметров в существующих стандартах на подшипники отсутствуют, возникает необходимость в их определении.

При определении истинных значений требуемых параметров применительно к торцовой поверхности внутреннего кольца подшипника были выполнены натурные измерения, которые обрабатывались методами теории вероятности и математической статистики. Количество исследуемых подшипников или объем выборки был принят из условия, чтобы все члены выборки правильно отражали величину искомого параметра применительно к генеральной совокупности, то есть выборка должна быть репрезентативной (представительной). Кроме того, в качестве дополнительного условия накладывалось требование, чтобы границы доверительного интервала при доверительной вероятности принятой в общем машиностроении $\alpha=0,95$, лежали в пределах $\varepsilon = \pm 2\sigma_x$, где σ_x - среднеквадратическое отклонение среднеарифметического. В этом случае выборка должна быть больше 20 и лежать в пределах $30 \dots 60$ [4].

При исследовании с целью уменьшения трудоемкости, но без потери достоверности результата, была взята выборка включающая 35 радиально - упорных роликоподшипников средней серии 7312.

Так как число исследуемых подшипников было достаточно велико, с целью удобства обработки статистических данных, 35 измерений по каждому исследуемому параметру группируются в разряды. Величина разряда должна быть больше разрешающей способности измерительного инструмента, которым производится обмер, чтобы можно было компенсировать погрешность измерения. После установки величины и числа разрядов производится расчет частот f_i по каждому разряду, составляется таблица распределения, вычерчивается экспериментальная кривая распределения и определяется статистические характеристики распределения.

Среднее арифметическое значение случайной величины X

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x_i f_i, \quad (1)$$

где x_i – середина розряда f_i – число значений x_i , $n = \sum_{i=1}^m f_i$ – общее число наблюдений x_i , m – число отдельных значений x_i .

Среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 f_i}{n}}. \quad (2)$$

Вероятность того, что среднее генеральной совокупности X_0 будет находиться в пределах $\bar{X} \pm \varepsilon$, где $\varepsilon > 0$ равно доверительной вероятности α .

$$P(\bar{X} - \varepsilon < X_0 < \bar{X} + \varepsilon) = \alpha. \quad (3)$$

По Стьюденту границы доверительного интервала для доверительной вероятности α можно определить

$$\varepsilon = t \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где t – коэффициент Стьюдента, определяемый по таблицам в зависимости от доверительной вероятности α и числа измерений n [4]; $\sigma_X = \frac{S}{\sqrt{n}}$ – оценка среднего квадратического отклонения среднеарифметического.

Если значение инструментальной погрешности соизмеримо со значением случайной погрешности, то при вычислении границы доверительного интервала ε , необходимо учитывать инструментальную погрешность

$$\varepsilon = \sqrt{\left(t \frac{S}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(t_{\infty} \frac{\delta}{3}\right)^2}, \quad (5)$$

где $t_{\infty} = 2$ коэффициент Стьюдента для $\alpha = 0.95$ и $n = \infty$ δ – предел допустимой погрешности измерительного прибора.

Окончательный результат представляем в виде

$$\bar{X}_0 = \bar{X} \pm \varepsilon \text{ при } \alpha = 0.95 \quad (6)$$

по найденным значениям X и ε определяется граница относительной погрешности

$$E = \frac{\varepsilon}{X} \cdot 100 \% \leq [E], \quad (7)$$

где $[E]$ – разрешенная относительная погрешность используемого метода измерений.

Согласно предложенной методике были обработаны результаты измерений неплоскостности, шероховатости и биения торцевой поверхности внутреннего кольца подшипника 7312. Результаты измерений твердости поверхностного слоя внутреннего кольца подшипника не потребовали обработки, так как показали, что все измерения укладываются в верхнюю границу требуемого интервала, а учитывая что ограничение верхней границы отсутствует, можно признать все подшипники годными.

Таблица 1

Частота f_i	Разряды X (мкм.)				
	0,0...0,3	0,3...0,6	0,6...0,9	0,9...1,2	1,2...1,5
	2	6	16	8	3

Измерение неплоскостности торцевой поверхности производилось на приборе кругломере «Talugond 73», настройка которого соответствовала погрешности измерения 0,1мкм. Максимальное отклонение от неплоскостности составило 1,5мкм., а минимальное 0,1мкм. Размах варьирования составляет 1,4мкм. Задаваясь величиной разряда 0,3мкм., что соответствует разрешающей способности интерференционного метода, получим число разрядов равно $= 5$. Группируя результаты измерений в пределах разрядов получено распределение частот по разрядам (Табл. 1)

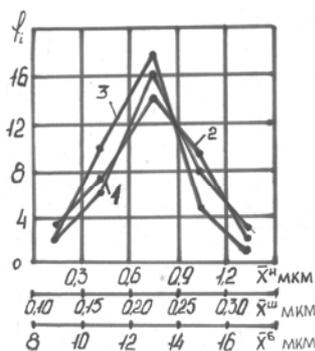


Рис.1 График распределения частот: 1-неплоскостность; 2-шероховатость; 3-торцевое биение.

Из графического изображения этих частот в виде полигона (рис 1) видно, что исследуемая функция подчиняется нормальному закону распределения.

Среднеарифметическое значение неплоскостности согласно уравнения (1). $X^H = 0,784$ мкм, а среднеквадратическое отклонение по уравнению (2) $S^H = 0,294$ мкм. Так как погрешность метода измерений неплоскостности соизмерима со случайной погрешностью, граница доверительного интервала определяется по уравнению (5). Если принять что коэффициент Стьюдента $t = 2,03$ при $\alpha = 0,95$ и $n = 35$ [4], то $\varepsilon^H = 0,121$ мкм. Таким

образом, окончательный результат измерения неплоскостности $X_0^H = 0,8 \pm 0,1$ при $\alpha = 0,95$. Граница относительной погрешности по уравнению (7) составит $E^H = 12,5\%$, что для данного вида измерений является удовлетворительным результатом.

Шероховатость торцевой поверхности измерялась на приборе – профилограф – профилометр. «Калибр» модели 283 с диапазоном измерений $10 \dots 0,02$ мкм. Предельные значения шероховатости лежали в интервале от 0,1 до 0,35 мкм. Задаваясь величиной разряда 0,05 мкм. Получено 5 разрядов. Группируя результаты измерений по разрядам, найдены частоты их распределения (табл. 2), по которым построен полигон распределения (рис.1)

Таблица 2

Частота f_i	Разряды X (мкм.)				
	0,1...0,15	0,15...0,20	0,20...0,25	0,25...1,30	1,30...1,35
	3	7	14	9	2

Так как функция распределения подчиняется нормальному закону, обработав результаты измерений по предложенной методике получим:

$$\bar{X}^H = 0,224 \text{ мкм.}; S^H = 0,0507; \varepsilon^H = 0,0186 \text{ мкм.};$$

$$\bar{X}_0^H = 0,22 \pm 0,02 \text{ мкм при } \alpha = 0,95. \text{ и } E^H = 9,1\%$$

Торцовое биение боковой поверхности внутреннего кольца подшипника измерялось на специальной оправке с использованием индикаторной головки с ценой деления 0,001 мм. Результаты биений лежали в интервале от 0,008 до 0,018 мм. Разбив интервал на 5 разрядов с величиной разряда 0,002 мм, группируем результаты измерений по разрядам (табл. 3) и строим полигон распределения частот (рис.1)

Таблица 3

Частота f_i	Разряды X (мкм.)				
	0,008...0,01	0,01...0,012	0,012...0,014	0,014...0,016	0,016...0,018
	2	10	17	5	1

Из графика видно, что результаты измерений подчиняются нормальному закону распределения, а основные статистические характеристики распределения и истинное значение генеральной средней соответственно равны:

$$\bar{X}^B = 0,126 \text{ мм.}; S^B = 0,00171 \text{ мм.}; \varepsilon^B = 0,00089 \text{ мм.}$$

$$\bar{X}_0^B = 0,013 \pm 0,001 \text{ мм при } \alpha = 0,95. \text{ } E^B = 7,7\%$$

Таким образом, статистический анализ результатов измерений по параметрам неплоскостности, шероховатости, торцевого биения и твердости поверхностного слоя для внутреннего кольца подшипника показал, что все указанные параметры с вероятностью $\alpha = 0,95$ укладываются в требуемые границы их измерения. Поэтому торцовая поверхность внутреннего кольца подшипника 7312 может быть использована в качестве вращающегося элемента пары трения торцевого уплотнения, особенно в конструкциях используемых для герметизации подшипниковых узлов редукторов, эксплуатируемых на открытом воздухе. Полученные результаты носят, а общий характер, и могут быть расширены на другие типоразмеры подшипников, так как технология их изготовления идентична.

Литература

1. Голубев Г.А. Кукин Г.М., «Уплотнение вращающихся валов» М. «Наука» 1996 99с
2. Голубев А.И. Кондаков Л.А. и др. «Уплотнение и уплотнительная техника. Справочник» М. Машиностроение 1986 463с.
3. Музыкин Ю.Д. Залевский Р.А. «Применение торцевых уплотнений для герметизации подшипниковых узлов червячных редукторов». Труды 5 международной Н/Т Конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.» Харьков, 2002 стр. 614-618.
4. Солонин И.С. «Математическая статистика в технологии машиностроения» М. Машиностроение 1972 215с.

УДК 62-82

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ГИДРОНАСОСОВ

Горбатюк Н.В., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The characteristics of piston pumps of KhADB developing and best pump corporations are compared. It is shown, that the technical parameters of considered pumps are at a level of the best known clones.

Аксиально-поршневые насосы широко применяются во многих отраслях промышленности в качестве источника энергии гидравлических приводов [1]. Они характеризуются малыми массой и габаритами, простотой осуществления регулирования, надежностью [2]. По данным научно - технической и конъюнктурно – эконо-

мической информации [3] мировой объем производства и поставок поршневых насосов в 2000 г. достигает 6 млрд. американских долларов. При этом ведущие зарубежные насосостроительные фирмы выпускают до 50 – 70 типоразмеров гидромашин.

В государственном предприятии Харьковское агрегатное конструкторское бюро (ХАКБ) разработано более десятка типоразмеров регулируемых аксиально-поршневых насосов (табл. 1) для гидросистем авиационной и космической техники, военно-транспортных машин. Оценка достигнутого уровня разработок выполняется на основании проведенных исследований по литературным и патентным источникам параметров данного типажа гидронасосов, выпускаемых ведущими фирмами США, ФРГ, Франции, стран СНГ (табл. 2–4) [4, 5].

Простая и достоверная оценка технического уровня насосов при сравнении отечественных разработок с зарубежными вызывает ряд трудностей. Номенклатура показателей качества объемных гидравлических машин по нормативным материалам содержит более трех десятков показателей [6]. Выполнение оценки в таком объеме весьма трудоемко, а польза сомнительна. Потребители гидронасосов получают информацию из каталогов. Здесь показатели качества указываются для каждого агрегата для номинальных режимов. Их параметры неодинаковы в различных фирмах, поэтому трудно дать оценку насосов для реальных условий работы. В этом основной недостаток используемой системы. Имеются попытки применения комплексных критериев качества [6]. Однако они не имеют четко выраженного физического смысла или регламентированной методики расчета.

В этой связи для сравнительной оценки качества аксиально-поршневых гидронасосов с наклонным диском принимались следующие показатели: номинальная и максимальная частоты вращения вала, номинальное давление нагнетания рабочей жидкости, минимальное абсолютное давление на входе в насос, объемный и общий КПД, двойная амплитуда пульсаций давления на выходе из насоса, масса, уровень шума и др.

Таблица 1

Параметры насосов разработки ХАКБ

Рабочий объем см ³	Шифр изделия	Номинальное давление, МПа	Частота вращения вала, мин ⁻¹		Поддача, л/мин	Абс. давление на входе, МПа	Рабочая жидкость		Масса, кг
			Номинальная	Максимальная			Тип	Диапазон температур, °С	
1,4	НП-138	26	30000	36000	36	1,0	Т-6, ТС-1	-60...+150	1,5
1,5	НП-130	16,5	10000	11500	15	0,05	АМГ-10	-50...+100	1,9
1,6	НП-114	20	28500	30000	36,5	1,0	АМГ-10	5 ... 125	2,5
1,7	НП-138-1	42	18000	30000	30	0,5	АМГ-10	-60...+150	1,5
4,0	НП-40	15	10000	11500	33	0,05	АМГ-10	-60...+100	2,7
12,5	НП-148	21	5500	6000	65	0,05	НГЖ-5У	-60...+100	5,1
18	НП-139	35	1500	-	25	0,09	Тп-22	0...50	9
32	НП-134	21	5350	6000	155	0,23	АМГ-10	-60...+125	13
56	НП-107	21	-	3780	170	0,23	АМГ-10	-60...+125	18
140	НП-140	32	3000	-	400	0,1	АМГ-10	-15...+100	55

Таблица 2

Параметры насосов фирмы "Vickers" при давлении 21 МПа

Рабочий объем, см ³	Шифр Изделия	Частота вращения вала, мин ⁻¹		Поддача на номинальной частоте вращения, л/мин	КПД на номинальном режиме		Масса, кг
		Номинальная	Максимальная		Объемный	Общий	
1,8	PV3-011	12500	15600	21,3	0,95	0,88	1,7
3,15	PV3-019	12100	15100	36,2	0,95	0,87	1,7
3,61	PV3-022	10000	12500	34,2	0,95	0,87	2,1
5,25	PV3-032	9000	11200	44,8	0,95	0,87	2,7
7,21	PV3-044	8000	10000	54,8	0,95	0,87	3,2
8,0	PV3-49	8800	11000	66,9	0,95	0,87	2,9
9,18	PV3-056	8200	10250	72,2	0,96	0,875	3,2
12,3	PV3-075	7000	8750	82,5	0,96	0,88	4,0
18,85	PV3-115	6600	8250	119,2	0,96	0,88	5,2
24,6	PV3-160	6000	7500	141,6	0,96	0,88	6,8
29,5	PV3-205	5900	7400	167,0	0,96	0,88	9,0
39,3	PV3-240	5300	6600	200,0	0,96	0,88	10,2
49,15	PV3-300	5000	6250	235,5	0,96	0,88	12,7
61,45	PV3-375	4800	6000	280	0,95	0,88	15,6

Степень совершенства конструкции гидронасосов оценивалась: отношением массы к величине рабочего объема, т.е. металлоемкостью; величиной гидравлической мощности, приходящейся на единицу массы, т.е. энергоемкостью, а также значениями КПД и уровня шума. Для сопоставимости результатов оценки технического уровня исследуемого типажа гидромашин анализ их характеристик проводится для давления 21 МПа. Этот показатель часто приведен в каталогах как номинальный.

Ресурс гидронасосов является важнейшим эксплуатационным параметром, в увеличении которого заинтересованы все потребители. Для стимулирования разработчика насосов появляется тенденция оценивать технический их уровень по критерию, одновременно учитывающему конструктивное совершенство и ресурс [6,7]. Однако, информация о ресурсе в проспектах на аксиально-поршневые насосы зарубежных фирм отсутствует.

Таблица 3

Насосы гидравлические разработки АК "Рубин" (Россия)

Рабочий объем, см ³	Шифр изделия	Номинальное давление, МПа	Частота вращения, мин ⁻¹		Подача на номинальной частоте, л/мин	Рабочая жидкости		Масса, кг
			Номинальная	Максимальная		Тип	Диапазон температур, °С	
2	НП131	8 – 21	10000	12000	17	АМГ-10	-60 ... +100	2,7
4	НП137	15	10000	11500	37	АМГ-10	-60 ... +100	3,7
	НП137А	21	10000	11500	37	АМГ-10	-60 ... +100	3,7
	НП137М	21	10000	11500	37	АМГ-10	-60 ... +100	4,1
	НП100	15	4000	10000	33	АМГ-10	-60 ... +100	4,9
8	НП100-2	21	5500	10000	40	АМГ-10	-60 ... +100	4,9
	НП100-3	21	7000	10000	47	НГЖ-5У	-55 ... +90	4,9
	НП135	21	5500	5900	100	НГЖ-5У	-55 ... +90	9,8
20	НП135А	21	5500	5900	100	НГЖ-5У	-55 ... +90	11,0
	НП135-2	21	5500	5900	100	АМГ-10	-60 ... +100	9,8
	НП96М	21	4000	4100	65	Т-1, ТС-1	-50 ... +110	8,0
	НП160Д	22	4000	4200	80	Т-1, ТС-1	-50 ... +110	8,0
32	НП103А	21	4200	4250	100	АМГ-10	-60 ... +100	11,5
	НП108	21	3780	4250	100	НГЖ-5У	-55 ... +90	15,6
	НП115	21	5500	5700	150	АМГ-10	-60 ... +100	12,5
45	НП123	21	4500	5500	180	НГЖ-5У	-55 ... +90	15,1
	НП112	28	4000	4300	160	7-50с-3	-60 ... +150	20,0
60	НП112А	28	4200	4500	215	АМГ-10	-60 ... +100	18,5
	НП128	28	5500	5800	280	АМГ-10	-60 ... +100	17,5
	НП128А	28	6000	6200	320	7-50с-3	-60 ... +150	17,5
	НП133	28/42	5500	5800	320	7-50с-3	-60 ... +150	17,5

Таблица 4

Параметры гидронасосов фирмы Sundstrand при давлении 21 МПа

Рабочий объем, см ³	Шифр изделия	Частота вращения вала, мин ⁻¹		Подача при номинальной частоте вращения, л/мин	КПД объемный	Момент инерции, Н·м ²	Масса, кг
		Номинальная	Максимальная				
30	030	4200	4600	120	0,96	0,0225	28
42	042	4200	4600	170	0,96	0,038	34
55	055	3900	4250	205	0,96	0,059	40
75	075	3600	3950	260	0,96	0,094	49
100	100	3300	3650	315	0,96	0,147	68
130	130	3100	3400	385	0,96	0,225	88
180	180	2600	2850	450	0,96	0,373	136
250	250	2300	2750	555	0,96	0,638	154

Частота вращения вала насоса является одним из показателей, отражающих технический уровень насосов, непосредственно влияющих на значение определяющего параметра – энергоотдачу (весовое совершенство) насоса. На рис. 1 показаны сравнительные данные зависимостей номинальной частоты вала насоса от рабочего объема, построенные по данным насосов разработки фирмы "Vickers", АК "Рубин", ХАКБ и требованиям ОСТ 1 964-80. Из приведенных данных следует, что по рассматриваемому параметру насосы АК "Рубин" и ХАКБ находятся практически на одном уровне и соответствуют нормативным требованиям [8], но несколько уступают зарубежным разработкам. Исключение составляет насос НП-138-1 разработки ХАКБ, номинальная частота вращения которого существенно превосходит выявленные аналоги.

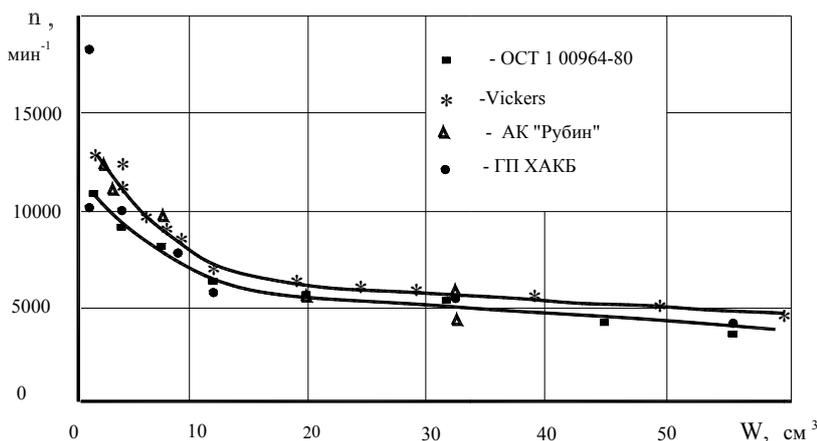


Рис. 1 Зависимость частоты вращения вала от рабочего объема

Минимальное абсолютное давление на входе в насос, необходимое для бескавитационной работы насоса является (рис. 2) функцией рабочего объема, частоты вращения, свойств рабочей жидкости. Аксиально-плунжерные насосы регулируемой производительности разработки ХАКБ выполняются как правило с предвключенным центробежным колесом. Это дает возможность работать насосам при абсолютном давлении на входе 0,03 – 0,05 МПа (табл. 1, 5) на различных рабочих жидкостях.

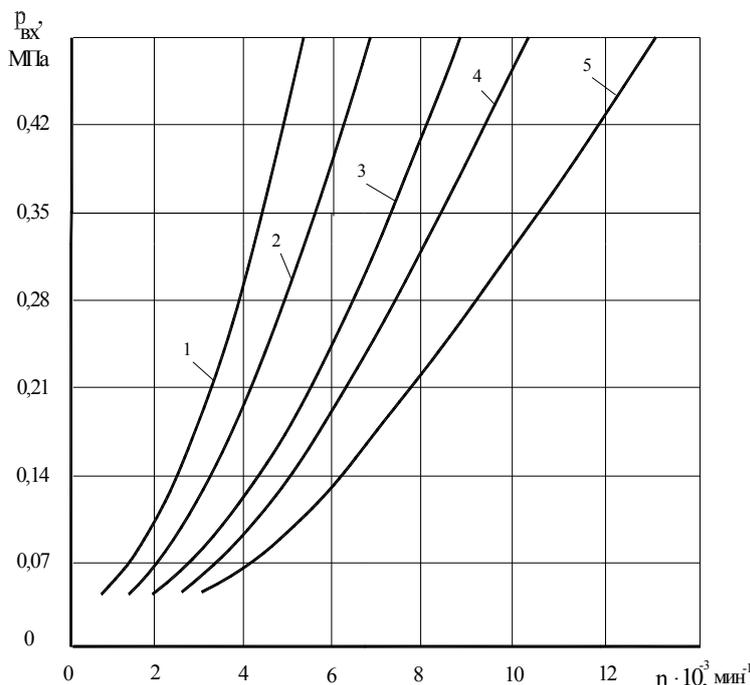


Рис. 2. Минимальное давление на входе в насос разработки Vickers:

1 - PV3-300, PV3-375; 2 - PV3-150, PV3-160; 3 - PV3-075; 4 - PV3-044; 5 - PV3-011

Таблица 5

Кавитационная характеристика насоса НП130 на масле АМГ-10

$P_{вх}$, МПа	0,2	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,028
Q, л/мин	13,89	13,91	13,91	13,91	13,91	13,91	13,91	13,91	13,89	Срыв

Пульсация давления на выходе из насоса влияет на долговечность самого насоса, а также элементов гидросистемы. К зарубежным насосам выставляется требование не превышения двойной амплитуды пульсаций давления рабочей жидкости $\pm 10\%$ от номинального значения давления. Требования к этому параметру, отраженные в нормативах [8] более жесткие (табл. 6).

Таблица 6

Двойная амплитуда пульсации давления нагнетания при $p=21$ МПа

Рабочий объем, $см^3$	2	4	8	12,5	20	32	45	56	75
Амплитуда пульсаций, МПа	1,25	1,6	2,25	2,55	2,90	3,30	3,60	3,90	4,20

Двойная амплитуда пульсаций давления нагнетания у насосов разработки ХАКБ на установившихся режимах работы находится для всей гаммы размерности на уровне (0,4 - 1,6) МПа, ниже по величине чем у зарубежных аналогов и существенно меньше нормативных требований (табл. 6).

КПД насосов служит важным показателем их энергетического совершенства и характеризует их технический уровень. Этому показателю иностранные фирмы уделяют особое внимание. Так по рекламным данным

общий КПД насосов достигает 0,92 (табл. 7). Нижняя граница общего КПД на номинальных режимах (на гидравлических жидкостях) по информационным материалам для зарубежных насосов находится на уровне 0,83 – 0,85. Этот рубеж следует считать нижним пределом по общему КПД для разрабатываемых насосов [9]. Сравнение данных по общему КПД (табл. 9) показывает, что насосы разработки ХАКБ по этому параметру уступают лучшим известным образцам. Несколько лучше дело обстоит с объемным КПД (табл. 9) насосов, где достигнутый уровень всех фирм приблизительно одинаковый.

Таблица 9

Технико-экономические показатели насосов

Фирма	Sundstrand-Sauer (США –ФРГ)	Sperry Vickers (США)	Poclain (Франция)	Rexroth (ФРГ)	ХАКБ
Количество типоразмеров	69	39	40	50	10
Общий КПД	91	88,5	90	92	85-88
Объемный КПД	0,96	0,95	0,95	0,95	0,92-0,96
Энергоемкость, кВт/кг	1,5 – 1,82	4,2 – 7,8	1,5	3,2 – 5,7	3,2 – 8,5
Уровень шума, дБА	-	74 – 79	72 – 75	78 – 82	75 – 80

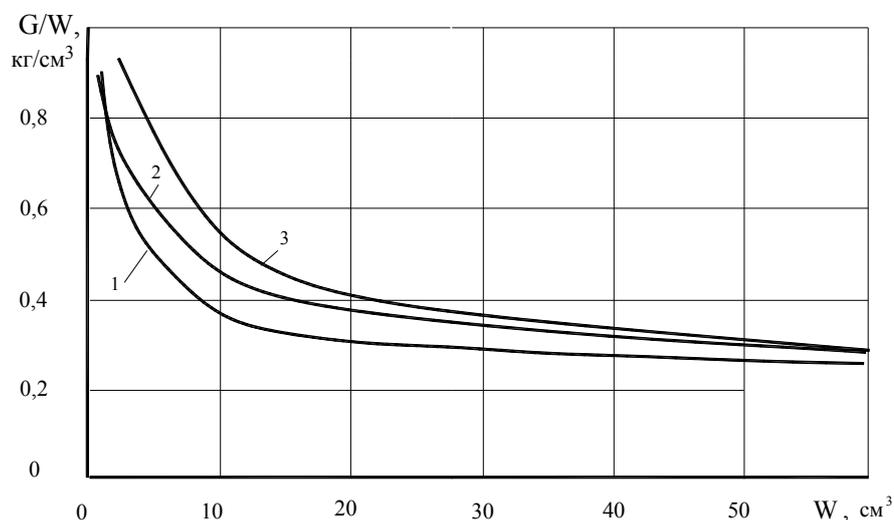


Рис. 3 Сравнение гидромашин по металлоемкости:
1 - "Vickers "; 2 - ХАКБ; 3 - АК "Рубин"

Масса насосов и весовое совершенство. В информационных материалах по насосам приводятся весовые характеристики, а также данные по достигнутому уровню отношения гидравлической мощности к массе насосов (табл. 9), которое является показателем весового совершенства.

На рис. 3 приведена зависимость отношения массы насосов к рабочему объему как функция рабочего объ-

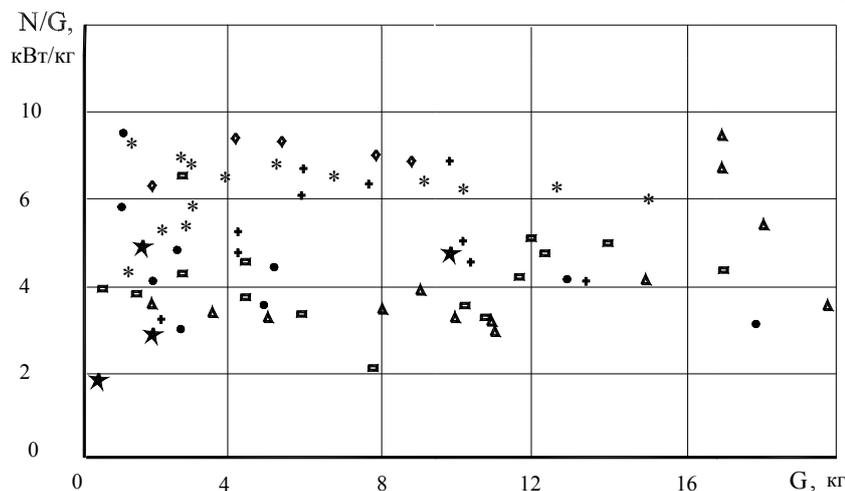


Рис. 4. Поле весового совершенства насосов:

* - Vickers; □ - Abex; ★ - Lucas; + - Missier; • - ХАКБ; ▲ - Рубин; ◆ - Sundstrand

ема для насосов, разработанных тремя фирмами. Из приведенных данных следует, что по металлоемкости наилучшие характеристики имеют насосы фирмы "Vickers". По этому показателю насосы ГП ХАКБ превосходят насосы АК "Рубин".

По достигнутому уровню энергоотдачи (отношения гидравлической мощности к весу насоса) большинство отечественных насосов отвечают нормативным требованиям [8], но уступают (рис. 4), насосам ведущих зарубежных фирм. Исключение составляет насос НП 138 разработки ХАКБ, у которого этот показатель весового совершенства превосходит известные аналоги. Из сравнительного анализа приведенных данных следует, что для одинаковых рабочего объема и массы, номинального давления гидравлическая мощность, полученная по требованиям отечественных нормативной технической документации ниже, чем требуют зарубежные стандарты. Следовательно, необходимо ввести как опережающие нормативные значения масс вместо принятых в нормативах технического уровня.

Показатели надежности насосостроительные зарубежные фирмы не приводят. Фирма "Vickers" приводит результаты стендовых испытаний насоса на жидкости Mil-H-5606A [5] в объеме 8000-15000 часов. Стендовая наработка насосов разработки ХАКБ составляет 4000–6000 часов. Ресурсы до первого ремонта для насосов авиационной техники составляют 3000 часов, а для общепромышленной техники – до 10000 часов. Общее количество аксиально-поршневых насосов разработки ХАКБ, которое было изготовлено и отправлено потребителям превышает 55 тысяч штук.

Выводы. 1. Проведенным сравнительным анализом установлено, что достигнутые параметры отечественных аксиально-поршневых насосов и показатели совершенства их конструкции в целом находятся на уровне зарубежных образцов. 2. В целях повышения технического уровня насосов необходимо в нормативной документации включить опережающие требования по массе насосов и их КПД.

Литература

1. Бефельман Л.М. и др. Современные тенденции развития аксиально-поршневых насосов // Вестник машиностроения. – 1982. - №2. – С. 46 – 49.
2. Алексеева Т.В., Шерман Э.Б. Гидравлические машины и приводы дорожно-строительных машин. – М.: Машиностроение, 1977.
3. Гидравлика и пневматика в 2000 году // Schweiz Maschinenmarkt. – 1988. – С. 119 – 121.
4. Axialklobenn-verstellpumpen Technische Information // Sauer-Sundstrand / Baureihe 90 – P. 48
5. Fluid Power Division. Inline Pumps // Vickers/ - P. 64.
6. Кондаков Л.А. О критериях оценки технического уровня объемных гидравлических машин // Вестник машиностроения. – 1988. – С. 12 – 15.
7. Кабаков М.Г. Опыт комплексной оценки уровня качества аксиально-поршневых насосов гидроприводов самоходных машин // Вестник машиностроения. – 1979. - №9. – С. 9 – 12.
8. ОСТ 1 00964-80. Насосы гидравлические. Технические требования. – 1991. – 15 с.
9. ДСТУ 2192-93. Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. Загальні вимоги. – 1993. – 32 с.

УДК 621.432

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ УПРУГОЙ МУФТЫ КАК ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ В ДВУХВАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЯХ

Шатохин В.М., канд. техн. наук, доц.

(г. Харьков, Украина)

The method of a non-linear flexible coupling parameters synthesis as means of dangerous torsional oscillations lowering in power circuits of two-shaft transport diesel engines is offered. In its basis the cost-effective form of harmonic linearization method for the integral equations of motion recorded with the help of pulse-frequency characteristics lies. The number of equations is equal to the number of nonlinearities, therefore laboriousness of the task solution practically does not depend on number of model freedom degree.

Введение. Увеличение мощности и быстроходности современных установок с ДВС неизбежно ведет к возрастанию динамических нагрузок в них. Эффективным средством борьбы с опасными крутильными колебаниями является введение упругих муфт и демпфирующих устройств, характеристики которых чаще всего являются нелинейными. Возможности существующих подходов по выбору их параметров [1-3] ограничены несовершенством моделей самих устройств, спецификой моделей машинных агрегатов с ДВС как многомассовых систем с несколькими нелинейностями. Используемые методы анализа нелинейных колебаний [2,4] не учитывают особенностей указанных моделей, что затрудняет решение задач синтеза и оптимизации.

В статье предложен свободный от указанных недостатков метод синтеза параметров упругой муфты с предварительным натягом как средства ограничения чрезмерных колебаний в нелинейных моделях машинных агрегатов с двухвальными дизелями. В его основе лежит эффективный алгоритм решения задач анализа, использующий гармоническую линейризацию для интегральных уравнений движения, записанных с помощью импульсно-частотных характеристик (ИЧХ). Главное достоинство такого подхода для решения задач синтеза и оптимизации в том, что число уравнений движения равно числу нелинейностей и трудоемкость решения задачи анализа практически не зависит от числа степеней свободы модели. Разработанный метод использован для выбора

оптимальных параметров муфты дизеля ЗТД с целью снижения опасных динамических нагрузок в его силовой цепи. Приведены результаты экспериментальных исследований.

1. Метод гармонической линеаризации для уравнений движения в интегральной форме. В динамике машин широко распространен метод гармонической линеаризации, позволяющий определять решения с приемлемой для практики точностью в случае моногармонического возбуждения, если только система обладает резонансными или фильтрующими свойствами [5,6]. На установившихся режимах для рассматриваемых систем наибольшую опасность как раз и представляют резонансные и околорезонансные режимы работы. Применение метода для рассматриваемых моделей в большинстве случаев требует решения систем уравнений, в которых только небольшое их число являются нелинейными. Известные приемы исключения линейных уравнений [7], повышающие быстродействие алгоритма, из-за их невысокой алгоритмичности сложно реализовать практически для систем произвольной структуры с несколькими нелинейностями. Использование уравнений движения в интегральной форме, записанных с помощью ИЧХ, позволяет получить экономичную форму метода гармонической линеаризации [6]. В матричной форме уравнения имеют вид [8]:

$$y(t) = \int_0^T \Phi(t - \tau) f(y) d\tau + g(t), \tag{1}$$

где $y(t) = [y_1(t), \dots, y_s(t)]^m$ – вектор деформаций нелинейных соединений (τ -знак транспонирования); $f(y) = [f_1(y_1), \dots, f_s(y_s)]^m$ – нелинейная вектор-функция, причем

$$f_j(y_j) = c_j y_j - F_j(y_j) \quad (j = \overline{1, s}); \tag{2}$$

$F_j(y_j)$ – нелинейная характеристика j -го нелинейного соединения; c_j и $c_j y_j$ – коэффициент жесткости и линейная часть упругого момента в нем; $\Phi(t - \tau) = [\varphi_{ij}(t - \tau)] \quad (i, j = \overline{1, s})$ – матрица ИЧХ линеаризованной модели, у которой нелинейные соединения заменены линейными с коэффициентами жесткости c_j ; $g(t) = [g_1(t), \dots, g_s(t)]^m$ – вектор-функция реакций линеаризованных нелинейных соединений на внешнее возбуждение;

$$g_j = \sum_{i=1}^k \int_0^T \psi_{ji}(t - \tau) M_i(\tau) d\tau; \tag{3}$$

$M_i(\tau) \quad (i = \overline{1, k})$ – возмущающие моменты; $\psi_{ji}(t - \tau) \quad (i = \overline{1, k}; j = \overline{1, s})$ – ИЧХ от i -й массы к j -му линеаризованному соединению; k – число возмущающих моментов; T – период колебаний.

Полагаем, как и при традиционном подходе, что решения нелинейных интегральных уравнений при моногармоническом возмущении с достаточной точностью описываются выражениями

$$y_j(t) = A_j^0 + A_j^c \cos \omega t + A_j^s \sin \omega t \quad (j = \overline{1, s}), \tag{4}$$

где A_j^0 – средняя деформация; A_j^c, A_j^s – соответственно косинусная и синусная амплитуды основной гармоники деформации j -го нелинейного соединения. Тогда система линеаризованных уравнений для нахождения $A_j^c, A_j^s \quad (j = \overline{1, s})$, после соответствующих преобразований, запишется в виде [6]:

$$Hx = G, \tag{5}$$

где

$$x = [A_1^c, A_1^s, A_2^c, A_2^s, \dots, A_s^c, A_s^s]^T, \tag{6} \quad G = [g_1^c, g_1^s, g_2^c, g_2^s, \dots, g_s^c, g_s^s]^m, \tag{7}$$

$$H = \begin{bmatrix} \mathbf{1} - \frac{T}{2} \varphi_{11}^c \tilde{c}_1 & \frac{T}{2} \varphi_{11}^s \tilde{c}_1 & \dots & -\frac{T}{2} \varphi_{1s}^c \tilde{c}_s & \frac{T}{2} \varphi_{1s}^s \tilde{c}_s \\ -\frac{T}{2} \varphi_{11}^s \tilde{c}_1 & \mathbf{1} - \frac{T}{2} \varphi_{11}^c \tilde{c}_1 & \dots & -\frac{T}{2} \varphi_{1s}^s \tilde{c}_s & -\frac{T}{2} \varphi_{1s}^c \tilde{c}_s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ -\frac{T}{2} \varphi_{s1}^c \tilde{c}_s & \frac{T}{2} \varphi_{s1}^s \tilde{c}_s & \dots & \mathbf{1} - \frac{T}{2} \varphi_{ss}^c \tilde{c}_s & \frac{T}{2} \varphi_{ss}^s \tilde{c}_s \\ -\frac{T}{2} \varphi_{s1}^s \tilde{c}_1 & -\frac{T}{2} \varphi_{s1}^c \tilde{c}_1 & \dots & -\frac{T}{2} \varphi_{ss}^s \tilde{c}_s & \mathbf{1} - \frac{T}{2} \varphi_{ss}^c \tilde{c}_s \end{bmatrix}. \tag{8}$$

В этих формулах g_j^c, g_j^s и $\varphi_{ji}^c, \varphi_{ji}^s$ соответственно косинусная и синусная амплитуды деформаций j -го линеаризованного соединения и основной гармоники ИЧХ $\varphi_{ji}(t)$; $\tilde{c}_j = c_j - c_{sj}$, где c_{sj} – эквивалентная жесткость j -го нелинейного соединения. В работе [6] показано, что для c_{sj} , как и для средней закрутки, справедливы формулы традиционного подхода, использующего уравнения движения в дифференциальной форме [4].

Задача анализа с использованием линеаризованных уравнений (5) решается следующим образом: задаются начальные значения амплитуд деформаций нелинейных соединений $A_j \quad (j = \overline{1, s})$; по ним определяются средние деформации и эквивалентные жесткости c_{sj} ; с помощью (5) находятся A_j^c, A_j^s , а следовательно, и амплитуды

ды $A_j^* = \sqrt{(A_j^c)^2 + (A_j^s)^2}$; минимизируется функция невязки

$$z = \sum_{j=1}^s (A_j^* - A_j)^2, \tag{9}$$

число переменных которой равно числу нелинейностей.

Принципиальным является то, что при каждом вычислении функции невязки необходимо решать систему линейных алгебраических уравнений (5) порядка $2s$. При традиционном же подходе это необходимо делать для системы порядка $2n$, где n – число обобщенных координат.

2. Метод синтеза параметров упругой муфты с предварительным натягом для двухвальных транспортных дизелей. Конструкция используемой в двигателях 5ТДФ, 6ТД, 3ТД муфты с предварительным натягом в передаче между коленчатыми валами такова, что при подходящем выборе параметров ее можно использовать как демпфер колебаний [1]. Для этого необходимо, чтобы точка срыва колебаний при увеличении оборотов лежала правее точки срыва при снижении оборотов. На рис. 1 показана упругая характеристика такой муфты, а из рис. 4 видно как реализуются ограничения амплитуд колебаний при возрастании и снижении оборотов.

Сформулируем задачу динамического синтеза параметров муфты как задачу нелинейного программирования: варьируя вектор ее параметров $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_l]^T$ (элементами вектора могут быть и параметры модели) необходимо добиться того, чтобы максимальная амплитуда упругого момента в нелинейной муфте на частоте ω^{**} стала минимальной

$$\min_{\mathbf{x} \in \mathbf{X}} A_M^{(3)}(\mathbf{x}, \omega^{**}), \tag{10}$$

где \mathbf{X} – область поиска допустимых решений, которая задается в виде линейных

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad x_i > 0 \quad (i = \overline{1, l}) \tag{11}$$

и нелинейного

$$\omega^{**} \leq \omega^* \tag{12}$$

ограничений относительно варьируемых параметров.

Здесь a_i и b_i – наименьшее и наибольшее значение i -го варьируемого параметра x_i ; ω^* и ω^{**} – частоты, при которых происходят скачки соответственно с первого устойчивого участка $A_M^{(1)}$ на второй $A_M^{(2)}$ (увеличение оборотов) и со второго – на третий $A_M^{(3)}$ (уменьшение оборотов; рис. 4 соответствует граничному случаю, когда $\omega^{**} = \omega^*$). Частоты являются соответственно корнями уравнений

$$\frac{d}{dt} A_M^{(1)}(\omega) = C, \quad \frac{d}{dt} A_M^{(2)}(\omega) = -C, \tag{13}$$

где C – константа, значение которой на один-два порядка превосходит модуль значений производных в левых частях выражений (13) на пологих участках изменения амплитуд.

3. Синтез параметров упругой муфты двухвального транспортного дизеля 3ТД. На рис. 1. представлена крутильная схема дизеля, связанного с потребителем (гидротормоз) упругой рессорой. Приняты следующие обозначения: $I_1 - I_3$, $I_4 - I_6$ – соответственно цилиндрические массы выхлопного и продувочного валов; $I_7 - I_{11}$ – шестерни главной передачи; I_{12} – компрессор; I_{13} – турбина; I_{14} – ступица демпфера продувочного вала; I_{16} – маховик двигателя в сборе со сцеплением и жестко связанная с ним ступица демпфера выхлопного вала; I_{15} , I_{17} – маховики демпферов; I_{18} – гидротормоз. Значения моментов инерции указаны в таблице 1. На рисунке показана также нелинейная характеристика упругой муфты с предварительным натягом между коленчатыми валами с учетом зазора, обусловленного технологическими зазорами в зубьях шестерен главной передачи. Коэффициенты жесткостей соединений расчетной модели приведены в таблице 2; c_9 соответствует жесткости податливого участка c_9'' упругой муфты. Остальные исходные параметры нелинейности: $c_9' = 1 \cdot 10^5 \text{ Нм}$ – жесткость упоров; $M_0 = 150,8 \text{ Нм}$ – предварительный натяг; $2d_9 = 0,012 \text{ рад}$ – зазор;

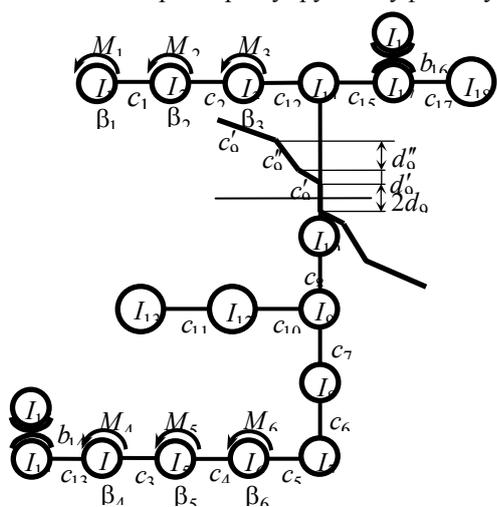


Рис. 1. Механическая модель машинного агрегата с дизелем 3ТД

$d_9' = 1,508 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$; $d_9'' = 0,065 \text{ рад}$ (соответствует рабочему ходу муфты $\delta = 4,4 \text{ мм}$). Средний момент, передаваемый муфтой, для исследуемого диапазона частот принят равным 300 Нм

Таблица 1

k	$I_k, \text{кг}\cdot\text{м}^2$
1÷6	0,073
7	0,038
8	0,033
9	0,036
10	0,072
11	0,023
12	0,64
13	1,336
14	0,035
15	0,105
16	1,839
17	0,419
18	2,5

Таблица 2

k	$c_k, \text{Н}\cdot\text{м}$
1÷4	$2,604 \cdot 10^6$
5	$2,604 \cdot 10^6$
6	$1,299 \cdot 10^6$
7	$1,684 \cdot 10^6$
8	$2,389 \cdot 10^6$
9	$1,033 \cdot 10^4$
10	$5,05 \cdot 10^3$
11	$3,798 \cdot 10^3$
12	$2,604 \cdot 10^6$
13	$8,3 \cdot 10^6$
15	$3,1 \cdot 10^5$
17	$2,482 \cdot 10^4$

Эквивалентное линейаризованное демпфирование на цилиндрических массах $\beta_1 = \dots = \beta_6 = 3,45 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ получено путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных на резонансных режимах при отсутствии демпферов.

Для снижения амплитуд вынужденных крутильных колебаний в двигателе ЗТД применяются силиконовые демпферы. Так как кинематическая вязкость силиконовых масел существенно зависит от градиента относительной скорости скольжения смазываемых поверхностей, то момент сопротивления в них оказывается нелинейным [9]:

$$M_{mp} = \frac{G}{N + |\dot{\psi}|} \dot{\psi}, \tag{10}$$

где $N = \frac{h}{Rk_0}$; $G = \frac{\pi\gamma_0 v_0}{gRk_0} (R^4 - r^4 + 2R^3b)$.

В последних формулах использованы обозначения: $\gamma_0 = 9,81 \cdot 10^3 \text{ Н}/\text{м}^3$ – удельный вес масла; $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ – ускорение силы тяжести; $k_0 = 0,039 v_0$; v_0 – кинематический коэффициент вязкости; $r = 0,045 \text{ м}$ и R – внутренний и внешний радиусы уровня заливания силиконового масла (для выхлопного вала $R = 0,171 \text{ м}$, для продувочного – $R = 0,121 \text{ м}$); $b = 0,043 \text{ м}$ – ширина маховика; $h = 0,5 \text{ мм}$ – зазор между ступицей и маховиком демпфера; $\dot{\psi} = \dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{cm}$; $\dot{\theta}_m$ и $\dot{\theta}_{cm}$ – угловые скорости ступицы и маховика демпфера.

Опасные колебания порождались главной – третьей гармоникой, поэтому возмущение на цилиндрических массах задавалось в виде

$$M_1(t) = \dots = M_3(t) = M_c^{(1)} \cos \omega t + M_s^{(1)} \sin \omega t, \quad M_4(t) = \dots = M_6(t) = M_c^{(2)} \cos \omega t + M_s^{(2)} \sin \omega t,$$

где $M_c^{(k)}, M_s^{(k)} (k=1,2)$ – соответственно суммарные амплитуды косинусных и синусных составляющих моментов газовых сил и сил инерции; ω – угловая частота, соответствующая третьей гармонике. Для частоты вращения $n = 1000 \text{ об}/\text{мин}$ получено: $M_c^{(1)} = -26,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_s^{(1)} = 315,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_c^{(2)} = 12,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_s^{(2)} = 247,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Эквивалентное линейаризованное демпфирование на цилиндрических массах $\beta_1 = \dots = \beta_6 = 4,2 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ найдено путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных на резонансных режимах при отсутствии демпферов.

Из-за уменьшения приведенных масс коленчатых валов двигателя ЗТД по сравнению с базовым дизелем БТД собственная частота, обусловленная податливым участком упругой муфты, возросла настолько, что главная – теперь уже третья гармоника возмущающих моментов оказалась резонирующей в зоне эксплуатационных оборотов ($\approx 800\text{--}1400 \text{ об}/\text{мин}$) для указанной частоты. Максимальный упругий момент в муфте достигал $11850 \text{ кН}\cdot\text{м}$, хотя уже при $7500 \text{ кН}\cdot\text{м}$ главная передача становится неработоспособной.

Применение демпферов позволяет снизить опасные динамические нагрузки. С демпфером на продувочном валу наибольший эффект достигается при $v_0 = 0,0025 \text{ м}^2/\text{с}$ (максимальный момент с $11850 \text{ кН}\cdot\text{м}$ снижается до $7599 \text{ кН}\cdot\text{м}$), а на выпускном – при $v_0 = 0,015 \text{ м}^2/\text{с}$ (максимальный момент дополнительно снижается до

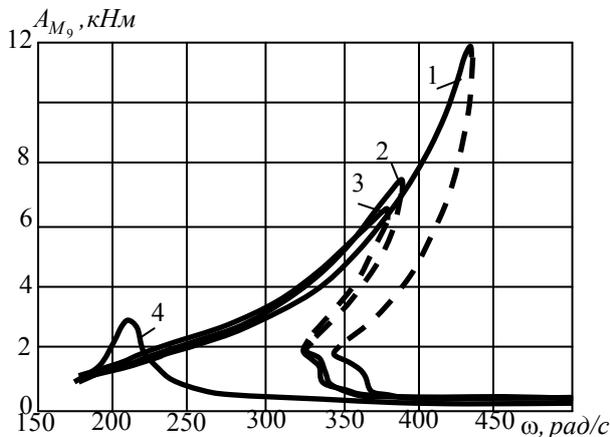


Рис. 2. Упругие моменты в нелинейной муфте (1–модель без демпферов; 2–демпфер на продувочном валу; 3–демпферы на продувочном и выхлопном валах; 4–линейная модель без демпферов)

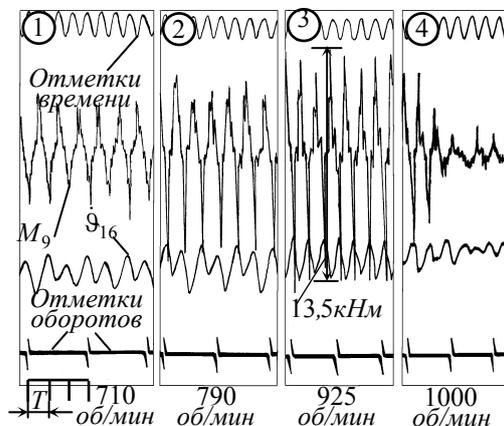


Рис. 3. Осциллограммы упругого момента в нелинейной муфте и угловой скорости маховика при увеличении оборотов двигателя

бкНм). На рис. 2 кривая 1 представляет зависимость упругого момента в муфте при отсутствии в машинном агрегате демпферов (штриховой линией выделена неустойчивая ветвь). Кривые 2 и 3 представляют соответственно упругие моменты при установке демпфера на продувочный вал и двух демпферов на продувочном и выхлопном валах. Незначительное влияние установки демпфера на выхлопном валу связано с тем, что его ступица укреплена на маховике. Эффект действия демпфера продувочного вала можно существенно поднять, но это требует увеличения его размеров (энергоемкости).

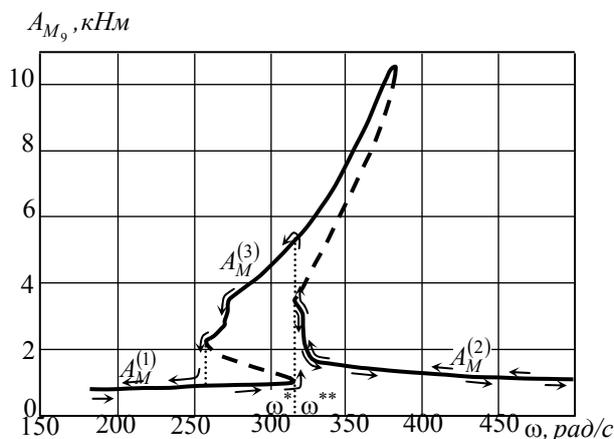


Рис. 4. Упругие моменты в нелинейной муфте

соответствующие кривые, иллюстрирующие изменение упругого момента в муфте. Теперь и при увеличении и при снижении оборотов имеет место ограничение амплитуд колебаний. Без использования демпферов максимальный момент в этом случае удастся снизить до 5500Нм, что подтверждает эффективность изложенного конструктивного приема для снижения опасных динамических процессов.

Выводы. 1. Предложен эффективный метод синтеза параметров муфты как средства ограничения крутильных колебаний двухвалных дизелей. 2. Задача динамического синтеза сведена к решению задачи нелинейного программирования. 3. Использован метод гармонической линеаризации для уравнений движения в интегральной форме, особенно эффективный при решении задачи анализа моделей машинных агрегатов с ДВС. 4. Метод применен для выбора оптимальных параметров муфты дизеля ЗТД с целью снижения опасных динамических нагрузок в его силовой цепи. 5. Предложенный подход перспективен для различных обобщений при решении задач синтеза нелинейных моделей машинных агрегатов.

Литература

1. Григорьев Н.В. Нелинейные колебания элементов машин и сооружений.—М.—Л.: Машгиз, 1961.—256 с.
2. Терских В.П. Крутильные колебания валопровода силовых установок, т. 1.—Л.: Судостроение, 1969.—208с.
3. Штейнвольф Л.И. Динамические расчеты машин и механизмов.—М.—Киев: Машгиз, 1961.—340 с.
4. Вульфсон И. И., Коловский М. З. Нелинейные задачи динамики машин.—Л.: Машиностроение, 1968.—282 с.
5. Розенвассер Е.Н. Нелинейные колебания.—М.: Наука, 1969.—576с.
6. Шатохин В. М. Экономичная форма метода гармонической линеаризации для нелинейных механических систем с большим числом степеней свободы // Динамика и прочность машин.—1993.—Вып. 54.—С. 138-149.
7. Карабан В.Н., Шаповалов А.В., Шатохин В.М., Шабаташ В.Н. Оптимизация крутильных систем с силиконовым демпфером // Динамика и прочность машин.—1981.—Вып. 34.—С. 89-93.
8. Шатохин В.М. Решение нелинейных интегро-дифференциальных уравнений периодических колебаний силовых передач машин с использованием ДПФ // Вестник ХГПУ.—Харьков: ХГПУ.—1998.
9. Бетлей Ш. Исследование вязких свойств силиконовых масел // Динамика и прочность машин.—Харьков.—1965.—Вып. 2.—С. 156-162.

На рис. 3 представлены фрагменты экспериментальных осциллограмм с записями упругого момента в главной передаче и угловой скорости маховика (два демпфера) при проходе через резонанс с плавным увеличением оборотов (T -период главной гармоники). Эти данные достаточно хорошо согласуются с представленными выше результатами расчетов.

Существенного снижения опасных колебаний можно однако добиться более дешевыми и простыми конструкторскими мероприятиями, если воспользоваться изложенным выше методом синтеза параметров муфты. Увеличение момента предварительной затяжки M_0 до 925Нм и рабочего хода δ до 5мм позволяет придать муфте необходимые свойства (в этом случае $d'_g = 0,015 \text{ рад}$, $d''_g = 0,0741 \text{ рад}$). На рис. 4 представлены соответ-

УДК 519.712

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ НОМИНАЛА БАНКОВСКИХ КУПЮР

Невлюдов И.Ш., докт. техн. наук, Новоселов С.П., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

In this article is described algorithm and controlling program of the automated recognition to authenticity of the bank bills.

На рис. 1 приведена структурная схема программы распознавания. Программа распознавания состоит из следующих компонентов:

Модуль ввода изображения, управляет работой сканера при помощи соответствующей подпрограммы – драйвера.

Обмен данными между программой и устройством осуществляется по стандарту TWAIN.

В качестве устройства ввода используется прибор с зарядовой связью (ПЗС), работающий в ультрафиолетовом диапазоне частот, который перемещается вдоль купюры и обеспечивает аппаратное разрешение 100 точек на дюйм. Плавное поступательное движение обеспечивается протягивающим механизм с редуктором.

Модуль предварительной обработки преобразует полученное изображение [2,3].

Модуль согласования и позиционирования показывает степень согласования фрагментов исследуемого изображения с наборами эталонов, хранящимися в базе данных.

Работа данного модуля построена на использовании корреляционного метода распознавания.

Степень корреляции определяется по формуле:

$$K(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \delta}{L},$$

где L – число пикселей, равных 1; $\delta = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i(\hat{x}, \hat{y}) = a_i(\tilde{x}, \tilde{y}) \text{ и } a_i(\tilde{x}, \tilde{y}) = 1, \\ 0, & \text{если } a_i(\hat{x}, \hat{y}) \neq a_i(\tilde{x}, \tilde{y}). \end{cases}$

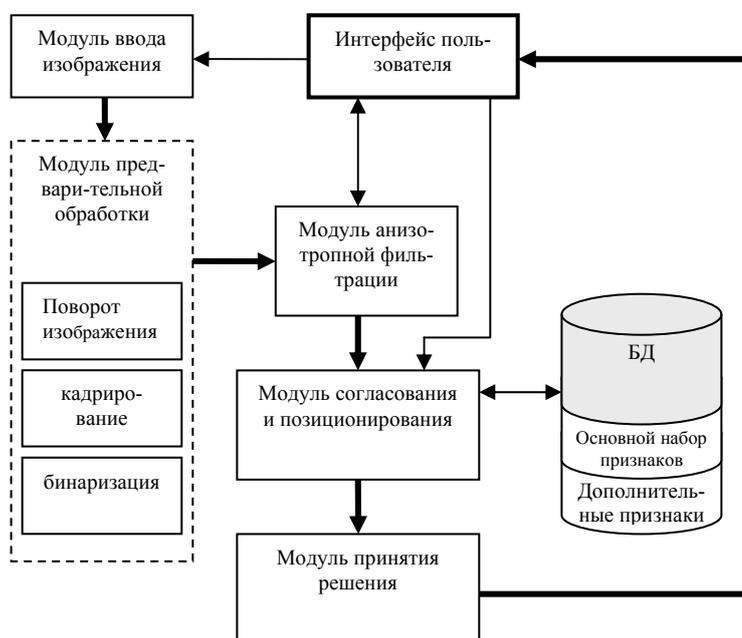


Рис 1. Структурная схема программы распознавания.

База данных содержит набор основных признаков, которые непосредственно участвуют в распознавании и набор дополнительных признаков, необходимость в которых возникает только в случае неопределенной ситуации.

В модуле принятия решения, на основе полученных сведений о степени согласования всех характерных сегментов изображения с эталонами, а также учитывая весовые коэффициенты каждого из сегментов, делается заключение о принадлежности изображения к тому или иному классу.

На рис. 2 приведен алгоритм работы программы распознавания номиналов банковских купюр в режиме распознавания.

Данный алгоритм полно-

стью отражает структуру программы распознавания, приведенную на рис. 1.

При обработке наборов признаков происходит определение степени согласования каждого эталона набора с соответствующим сегментом изображения.

Полученные вследствие этого данные суммируются с учетом весовых коэффициентов и запоминаются для дальнейшего использования. После обработка всех наборов эталонов происходит поиск наибольшей величины степени согласования. По номеру этого набора находится описание распознаваемого изображения.

В случае, если максимальная вероятность не превышает 50%, то изображение считается не распознанным. В данном случае можно перейти в режим обучения для классификации подобного изображения.

В режиме обучения на исследуемом изображении экспертом определяются характерные участки изображе-

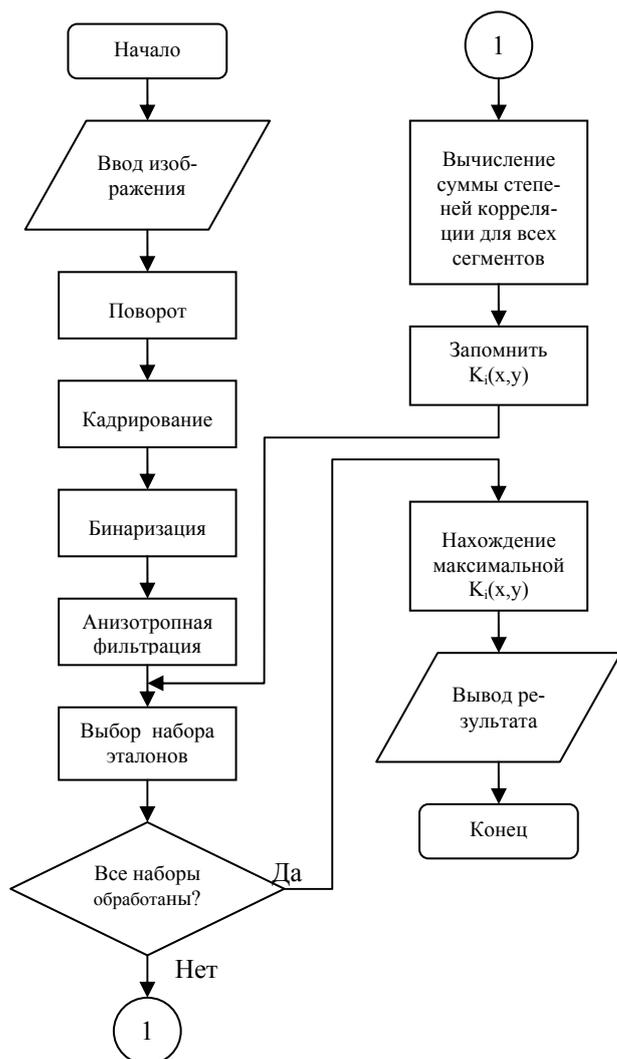


Рис. 2. Алгоритм работы программы распознавания номиналов банковских купюр в режиме распознавания.

ния, производится описание купюры. После этого полученные данные заносятся в базу данных.

Таким образом, разработанная система выполняет следующие функции:

а) ввод изображения купюры в ультрафиолетовом диапазоне частот;

б) предварительная обработка изображения – поворот, кадрирование, бинаризация;

в) фильтрация изображения;

г) распознавание купюры по полученному изображению;

д) возможность обучения.

На основании вышеизложенного разработана программа распознавания подлинности банковских купюр.

Программа выполнена на языке Pascal при помощи среды визуальной разработки программ Delphi 5.

Программа имеет графический интерфейс. В процессе работы пользователь может по желанию влиять на ход процесса работы при помощи соответствующих органов управления.

Данный программный продукт является удобным инструментом при обучении специалистов по соответствующим специальностям.

Литература

1. Невлюдов И.Ш., Новоселов С.П. Повышение скорости распознавания номинала банковских купюр // Вестник инженерной академии Украины - 2001. №3, ч.2. - С. 263 – 266.
2. Претт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн.1 – 312 с., ил.
3. Претт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн.2 – 480 с., ил.
4. Логинов А.И. Системы технического зрения: Учебное пособие/Моск. ин-т радиотехники, электроники и автоматики. – М., 1991. – 80с.

УДК 621.396:537.874.4

ТЕХНОЛОГИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПАССИВНОЙ СИСТЕМОЙ АВИАЦИОННОГО БАЗИРОВАНИЯ

Абрамов А. Д., канд. техн. наук, Крупка А. В.

(г. Харьков, Украина)

The test of recognition (identification) of signals from observed surfaces, founded on attitude (relation) is obtained operating and idle time computationally

В комплексе проблем обеспечения рационального построения и оперативного функционирования радиотехнических систем пассивного типа авиационного базирования особое место занимают проблемы, связанные с разработкой эффективной процедуры распознавания радиометрических сигналов от поверхностей с конкретными электрофизическими параметрами (температура, влажность, диэлектрическая проницаемость и т. п.).

Известные решения подобных задач связаны с проведением точечного оценивания параметров поверхностей. Такой подход требует длительного времени накопления сигнала, а надежность полученных результатов измерений проблематична.

В настоящей работе получен оперативный и простой в вычислительном отношении тест распознавания сигналов от поверхностей с различными электрофизическими параметрами, которые обрабатываются радиометром с использованием плоской антенной решеткой в качестве измерительного инструмента. Полученный тест основан на критерии отношения правдоподобия.

Принимаемое колебание на выходе ml - го элемента ($m \in \overline{1, M}$, $l \in \overline{1, K}$) плоской антенной решетки представляется в виде суммы полезного радиометрического сигнала и канальных шумов:

$$\dot{U}(t, ml, \vec{\alpha}) = \dot{S}(t, ml, \vec{\alpha}) + \dot{n}(t, ml), \quad t \in 0, T \quad (1)$$

здесь $\vec{\alpha}$ r - размерный вектор электрофизических параметров наблюдаемой поверхности. Сигнальная компонента $\dot{S}(t, ml, \vec{\alpha})$ связана с коэффициентом передачи $\dot{K}(f)$ ml - го тракта и спектрально-угловой плотностью амплитуды $\dot{A}(U_x, U_y, f, \vec{\alpha}, t)$ соотношением:

$$\dot{S}(t, ml, \vec{\alpha}) = \int_{f_0-F}^{f_0+F} \dot{K}(f) \int_{\Omega_x, \Omega_y} \dot{A}(U_x, U_y, f, \vec{\alpha}, t) F(U_x, U_y) \cdot e^{2\pi j \frac{d_x}{\lambda} (m-1) U_x} \cdot e^{2\pi j \frac{d_y}{\lambda} (l-1) U_y} \cdot e^{2\pi j f t} dU_x dU_y df. \quad (2)$$

Здесь U_x и U_y - направляющие косинусы углов наблюдения, отсчитываемых от осей X и Y расположения антенной решетки, λ - рабочая длина волны, а $F(U_x, U_y)$ - комплексная диаграмма направленности, $2F$ - полоса пропускания приемного тракта. Полагается, что статистические характеристики принимаемого сигнала и помех подчинены нормальному закону распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсиями $B(U_x, U_y, \vec{\alpha})$ и N_0 соответственно.

Рассматриваемой задачей является задача обнаружения - классификации излучаемой поверхности на основании анализа ее радиояркого портрета $\dot{B}(U_x, U_y, \vec{\alpha})$. Как известно, исчерпывающее описание наблюдаемого процесса дает ковариационная матрица

$$\tilde{R}_0(\vec{\alpha}) = \langle \tilde{S} \cdot \tilde{S}^+ \rangle, \quad (3)$$

которая в рассматриваемом случае факторизуется как

$$\tilde{R}(\vec{\alpha}) = \tilde{\Lambda} \tilde{\Psi} \tilde{\Lambda} + 2\sigma_0^2 I_M. \quad (4)$$

Здесь элементы пеленгационного вектора $\tilde{\Lambda} = (1, \lambda, \lambda^2, \dots, \lambda^{M-1})^T$ связаны с направляющими косинусами соотношением $\lambda = \exp\left(2\pi j \frac{d_x}{\lambda} U_{x_0}\right)$, а $\tilde{\Psi} = \int_{-F}^F |K(f)|^2 \int_{\Omega_x, \Omega_y} \dot{B}(U_x, U_y, \vec{\alpha}) dU_x dU_y df$ - корреляционная матрица интенсивностей, $\tilde{\Psi} \in M_{1,1}(F)$.

В работе показано, что критерий отношения правдоподобия, конкретизированный к решению поставленной задачи, записывается так:

$$\frac{1}{K} 2lm = 2W \sum_{i=1}^M \left(\frac{S_i}{v_i} - \ln \frac{S_i}{v_i} - 1 \right). \quad (5)$$

Здесь S_i и v_i - i -ое собственное значение матриц выборочной \tilde{S} и опорной (априорно заданной) \tilde{R}_0 ковариационных матриц. $W = 2F \cdot T$.

Статистика (5) при выполнении гипотезы $H_{\vec{\alpha}_i}$ имеет в асимптотике χ^2 - распределение с r степенями свободы, где r - размерность вектора $\vec{\alpha}$. Следовательно, решение поставленной двумерной задачи может быть сведено к проверке гипотез $H(\vec{\alpha}_m)$ ($m = 1, 2, \dots$) - наблюдаемая поверхность имеет электрофизические параметры, определенные вектором $\vec{\alpha}_m$, на основании критической статистики (5).

На основании синтезированной методики разработана технология обработки наблюдаемого процесса для принятия классификационного решения о принадлежности поверхности к категории "площадок" с заданными электрофизическими параметрами.

Она сводится к следующим операциям. По принятым антенной решеткой радиометрическим пространственно-временным сигналам формируем оценку \hat{S} ковариационной матрицы $\tilde{R}(\vec{a}_n)$. Затем определяем совокупность $S_i (i = \overline{1, M})$ ее собственных значений. На основании $S_i (i = \overline{1, M})$ и совокупности собственных значений $v_i (i = \overline{1, M})$ априорно заданных матриц $\tilde{R}(\vec{a}_n)$ производится последовательная проверка гипотез $H(\vec{\alpha}_n)$, ($n = 0, 1, \dots, m, \dots$). Для этого на основании "тестовых" v_i - вычисленных согласно некоторой модели радиотеплового излучения, и оцененных $S_i (i = \overline{1, M})$ - собственных значений матрицы \hat{S} вычисляем критическую статистику по правилу (5) и сравниваем с порогом $\chi_{\alpha, t}^2$, который выбран из таблиц χ^2 - распределения по заданному уров-

ню значимости α и числу r степеней свободы. Если $\frac{1}{K} 2lm > \chi_{\alpha,t}^2$ расхождение значимо: гипотеза $H(\vec{\alpha}_n)$ отвергается.

При этом переходят к проверке следующей гипотезы $H(\vec{\alpha}_{n+1})$. Если на некотором шаге, например m , впервые $\frac{1}{K} 2lm \leq \chi_{\alpha,t}^2$, то выносится решение: наблюдаемый процесс обусловлен излучением поверхности с параметрами \vec{a}_m .

Процедура проверки на этом прекращается.

С практической точки зрения целесообразно при формировании критической статистики опираться только на значимые собственные значения $S_i (i = \overline{1, N}, N < M)$, количество которых может быть определено по известным методикам.

Эффективность разработанной процедуры пространственно-временной обработки двумерных сигналов, снятых с выходов элементов плоской антенной решетки, проверена на уровне цифрового статистического моделирования с использованием ПЭВМ. Получены экспериментальные характеристики зависимостей критической статистики (5) от величины отклонения измеряемых электрофизических параметров от тестовых для известных моделей радиотеплового излучения. Даны вероятностные характеристики принимаемых решений для различных оцениваемых параметров (диэлектрической проницаемости, электропроводности, угла наблюдения).

Исследована возможность одновременного оценивания двух электрофизических параметров по результатам обработки радиометрических сигналов с вертикальной и горизонтальной поляризациями. Показана эффективность предложенного теста для решения таких задач. Приведена зона неопределенности одновременного оценивания двух параметров, которая способна факторизоваться в форме эллипса.

Приведены рабочие и аттестационные характеристики синтезированного теста в широком диапазоне мощностных соотношений сигнал/шум, заданных дисперсиях канальных шумов и ошибок первого рода. Отмечено, что использование технологии позволяет оценить дисперсию канальных шумов и значительно снизить влияние шумов на качественные показатели.

Исследовано влияние фонового излучения на вероятностные характеристики принятия классификационных решений, даны практические рекомендации по использованию теста. Показано, что наличие фонового излучения влияет на количество значащих собственных значений ковариационной матрицы.

Предложены практические рекомендации по повышению надежности классификации наблюдаемой поверхности, показана стратегия выбора оптимального угла визирования и его влияние на качественные показатели. Все выводы конкретизированы к пассивным системам авиационного базирования.

Анализ приведенных результатов показывает, что технология принятия решений, полученная на основании использования критерия отношения правдоподобия, во-первых, сохраняет оперативность при достаточно низких соотношениях сигнал-шум и малом числе накапливаемых отсчетов, во-вторых, проста в вычислительной реализации, использует табулированную статистику и позволяет управлять величиной ошибки первого рода.

Совокупность указанных факторов позволяет сделать вывод о практической целесообразности использования таких технологий в радиотехнических системах пассивного типа авиационного базирования, работающих в реальном масштабе времени на первом этапе обработки принятого пространственно-временного сигнала.

УДК 658.3:621.31

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Петков А.А.

(г. Харьков, Украина)

There are requirements to the program of electrosecurity knowledge tests are formulated in this report. More over general forms of tasks monitoring and experimental investigation results of the program demo version are given also.

Несмотря на усиление требований к охране труда и технике безопасности в Украине на предприятиях всех форм собственности ежедневно травмируется в среднем свыше 200 работников, из которых около 30 становятся инвалидами, а 5-6 человек гибнут [1], и в частности ежегодно от поражения электрическим током на производстве гибнет 220-230 человек [2].

Анализ причин показывает, что значительная часть случаев производственного травматизма связана с незнанием или недостаточным знанием правил охраны труда и техники безопасности – более 25% [3]. Социологический опрос рабочих и мастеров выявил, что только 68% рабочих хорошо знают все необходимые им в работе нормы и правила охраны труда, а 23% рабочих нарушают правила безопасности из-за их незнания [4]. Из опрошенных мастеров 47,8% не могут сказать, что сами хорошо знают все правила безопасности, необходимые в работе [5], а в качестве причины, заставляющей рабочих рисковать, 17,4% называют недостаточную профессиональную подготовку и недостаточные знания специфики работы. 47,5% из опрошенных рабочих считают, что необходимо совершенствовать систему обучения.

Как видно из результатов социологического опроса, совершенствование системы обучения, и в первую очередь правилам охраны труда и техники безопасности, является действенным фактором снижения травматизма на производстве. Средством совершенствования системы обучения является использование компьютерной техники при обучении и контроле знаний по безопасности. Для подготовки специалистов по охране труда, руководителей уже используются обучающе-контролирующие комплексы [6]. Однако использование таких комплексов

сов для периодической проверки знаний затруднительно и вряд ли целесообразно, так как необходимо поддерживать базу данных, содержать квалифицированный персонал, иметь спецоборудование и т.д. Поэтому для периодической проверки знаний имеет смысл разрабатывать специализированные программные продукты. В настоящей работе сформулированы требования к компьютерной программе контроля знаний по электробезопасности, приведены основные формы предъявления заданий.

Программа контроля знаний должна обеспечивать требования, представленные в табл.

При контроле знаний возможно использование следующих форм предъявления заданий, программная реализация и оценивание некоторых из них описаны в [7, 8].

1. Задание на формулирование определения терминов, описывающих понятия в области электробезопасности, например:

- Какие электроустановки считаются действующими?

2. Задание на установление связи понятий с его числовой характеристикой, например:

- Какова предельно допустимая величина сопротивления заземляющего устройства?

3. Выбор ответа из альтернативных вариантов, например:

- Являются ли наличие токопроводящих полов (земляных, железобетонных, металлических) и температуры, длительно превышающей 30°C, признаком помещения с повышенной опасностью?

Варианты ответа: а) являются; б) не являются.

4. Выбор нескольких вариантов ответа из множества предложенных, например:

- Из предложенных вариантов выберите работы в электроустановках, которые должны проводиться по нарядам.

Варианты ответа: а) работы, проводимые с полным снятием напряжения; б) работы, выполняемые с частичным снятием напряжения; в) работы, выполняемые без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением; г) работы, выполняемые без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением.

Таблица

Требования к программе контроля знаний по электробезопасности

	Требование у программному продукту	Эффект от реализации требования
1	Индивидуальное включение каждого задания из базы заданий в блок контроля	Возможность настройки программного продукта на контроль знаний электротехнического персонала определенной квалификационной группы
2	Сохранение вариантов набора блока контроля	
3	Предъявление для контроля всех вопросов блока контроля данной квалификационной группы	Полный объективный контроль знаний по электробезопасности
4	Случайный выбор заданий для контроля	
5	Постоянная индикация результатов контроля	
6	Возможность корректировки объема предъявляемых для контроля заданий в зависимости от результатов ответа	
7	Возможность опровергать оценку, выставленную компьютером вплоть до выполнения всех заданий блока контроля	
8	Форма представления заданий должна исключать влияние на результат ответа факторов, не связанных с сущностью вопроса (например, орфографических ошибок при вводе ответа и т.п.)	Обеспечивает доверие к "электронному экзаменатору" (программному продукту)
9	Защита от несанкционированных изменений настроек программы	
10	Предъявление следующего задания только после верного ответа на предыдущее задание	Проявление обучающего эффекта в процессе контроля знаний
11	Программный подвод к верному ответу в случае ошибок экзаменуемого	

5. Задание на установление порядка действий (событий), например:

- Укажите цифрами порядок действий при наложении переносных заземлений.

Данные для ответа: проверить отсутствие напряжения при помощи указателя напряжения; один конец заземления подсоединить к "земле"; закрепить зажимы переносного заземления на токоведущих частях при помощи штанги; поочередно наложить при помощи штанги на токоведущие части зажимы переносного заземления.

Для апробации сформулированных требований и форм предъявления заданий была разработана демонстрационная версия компьютерной программы контроля знаний и проведено экспериментальное тестирование

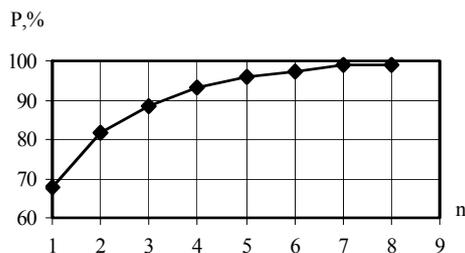


Рисунок. Изменение уровня усвоения знаний при самоконтроле. P - количество верно выполненных заданий. n - количество сеансов самоконтроля.

- разработку базы контрольных заданий и исследование ее на надежность и валидность;
- исследование возможности использования других форм представления заданий;
- разработку компьютерной программы контроля, полностью реализующей описанные выше требования.

Литература

1. Ткачук С. Необходима диктатура закона. Охрана труда. 1999, №9, с. 4.
2. Сопильняк В. Электробезопасность ... под сукном. Охрана труда. 1999, №9, с. 20.
3. Бондарчук Г., Козак Я. Анализируя причины, предупреждаем травматизм. Охрана труда. 1999, №3, с. 27-29.
4. Что я думаю по этой проблеме. Результаты социологического исследования. Охрана труда. 1999, №7, с. 14-18.
5. Что я думаю по этой проблеме. Результаты социологического исследования. Охрана труда. 1999, №8, с. 17-21.
6. Артемьев В. Экзамен на компьютере: знания улучшаются, самооценка повышается. Охрана труда. 1999, №11, с. 6-7.
7. Петков А.А., Петкова М.А. Компьютеризированный контроль усвоения связи понятий с их числовыми характеристиками // Професійна освіта: теорія і практика. Науково-методичний журнал. №1-2 (15-16). 2002, - С. 76 – 80.
8. Петков А.А. Количественная оценка знаний обучающихся иностранным языкам при компьютеризированном контроле словарного запаса // Сборник научных трудов Харьковского института социального прогресса. – Вып. 3. – Харьков, - 1998. – С. 5 – 7.

УДК 004.82

МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ

Евсюков Д.Е.

(г. Харьков, Украина)

In the article the browse of existing models of representation of the knowledge used in automatized learning systems is given. Is exhibited, that in learning systems of model of representation of knowledge will help to display statistical and dynamic properties of data domain.

Представление знаний – это актуальная область в обучающих и экспертных системах. Особенности представления знаний и механизм логического вывода определяют два основных элемента экспертных и обучающих систем – базу знаний и машину логического вывода. Любая работающая со знаниями программа должна каким-то образом отображать знания из своей области применения. Обычно для этого недостаточно примитивных структур данных, используемых в традиционной обработке данных, таких как числа, массивы, записи и др., и методов работы с ними. В таких системах используются символьные языки представления знаний и формализмы, стоящие на более высоком понятийном уровне. Каждому из методов представления знаний соответствует свой способ описания знаний.

1. Логические модели.
2. Продукционные модели.
2. Сетевые модели.
4. Фреймовые модели.

Используются и другие связанные с конкретным применением способы представления знаний, но они менее распространены и, как правило, не годятся для использования в общем случае. Не всегда можно однозначно сказать, какой формализм представления использован в системе. В рамках одной и той же системы для представления различных видов знаний могут быть использованы различные формализмы.

В обучаючих системах модели представления знаний помогут отобразить статистические и динамические свойства предметной области, то есть объекты и отношения предметной области, связи между ними, иерархию понятий предметной области и изменение отношений между объектами.

УДК 519.21

ПРО ОДНУ НЕПЕРЕРВНУ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНУ ФУНКЦІЮ.

Комкова О.А.

(м. Одеса, Україна)

In work was undertake the research of one of continuous nondifferential functions. About one of continuous nondifferential function.

Розглянемо функцію $F(x)$

$$F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}, \quad (*)$$

де $\alpha_k(x)$ – k -та двійкова цифра x , тобто $x = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k(x)}{2^k}$, $\alpha_k(x) \in \{0,1\}$, p_0 – фіксоване число $0 < p_0 < 1$;

$$p_1 = 1 - p_0.$$

Значення функції в точці $x = 0$ дорівнює $\frac{p_0}{p_1}$:

$$F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} = p_0 + p_0^2 + p_0^3 + p_0^4 + \dots = \frac{p_0}{1 - p_0} = \frac{p_0}{p_1}.$$

Теорема 1. Функція $F(x)$ визначена коректно.

Доведення: Коректність означення функції $F(x)$ буде обґрунтованою, якщо буде доведено, що формула (*) даватиме однакові результати для двох різних зображень двійково-раціональних чисел:

$$x_0 = \Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_k(0)} = \Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1}(0)} = \Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1}0(1)}.$$

Очевидно, що це одне й теж зображення одного й тогож числа:

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{1}{2^k} &= \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{0}{2^k} + \left[\frac{1}{2^{k+1}} + \frac{1}{2^{k+2}} + \dots \right] = \\ \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{0}{2^k} + \left[\frac{1}{2^k} \right] &= \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{0}{2^k} + \left[\frac{1}{1 - \frac{1}{2}} \right] = \\ &= \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{2^2} + \dots + \frac{\alpha_{k-1}}{2^{k-1}} + \frac{1}{2^k}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(\Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1}0(1)}) &= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 p_0 + \dots = \\ &= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} (p_1 + p_1 p_0 + p_1 p_0^2 + \dots) = p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + \frac{p_1 p_0}{1 - p_0} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} = \\ &= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}. \end{aligned}$$

З іншого боку

$$\begin{aligned} F(\Delta_{\alpha_1 \dots \alpha_{k-1}0(1)}) &= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 + p_0 \left[\prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} \right] p_1 p_1 + \dots = \\ &= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} (p_0 + p_1 p_0 + p_1^2 p_0 + \dots) = \\ &= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + \frac{p_1 p_0}{1 - p_1} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} = \end{aligned}$$

$$= p_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{k-1} \prod_{j=1}^i p_{\alpha_j(x)} + p_0 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)} + p_1 \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}.$$

Теорему доведено.

Теорема 2. Функція $F(x)$ є неперервною.

Доведення. Нехай $x_0, x \in (0;1)$, тоді існує таке k , що $\begin{cases} \alpha_i(x) = \alpha_i(x_0) \\ \alpha_k(x) \neq \alpha_k(x_0) \end{cases}, i = \overline{1, k-1}$.

Тобто $x_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{k-1} \alpha_k \alpha_{k+1} \alpha_{k+2} \alpha_{k+3} \dots$, $x = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{k-1} \alpha_i \alpha_{i+1} \alpha_{i+2} \dots$

$$\begin{aligned} F(x_0) &= p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_4}(p_{\alpha_3} p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{k-1}}(p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \\ &+ p_{\alpha_k}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_{k+1}}(p_{\alpha_k} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots \\ F(x) &= p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_4}(p_{\alpha_3} p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{k-1}}(p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \\ &+ p_{\alpha_i}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_{i+1}}(p_{\alpha_i} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Тоді} \\ |F(x) - F(x_0)| &= (p_{\alpha_i}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) - p_{\alpha_{k-1}}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1})) + \\ &+ (p_{\alpha_{i+1}}(p_{\alpha_i} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) - p_{\alpha_{k+1}}(p_{\alpha_k} p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1})) + \dots = \\ &= (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) (p_{\alpha_i} - p_{\alpha_{k-1}}) + (p_{\alpha_{i+1}} p_{\alpha_i} - p_{\alpha_{k+1}} p_{\alpha_k}) + \dots = \\ &= \prod_{i=1}^{k-1} p_{\alpha_i} [(p_{\alpha_i} - p_{\alpha_{k-1}}) + (p_{\alpha_{i+1}} p_{\alpha_i} - p_{\alpha_{k+1}} p_{\alpha_k}) + \dots] \leq (p_{\max})^{k-1} \rightarrow 0, \text{ якщо } k \rightarrow \infty; \end{aligned}$$

$$p_{\max} = \max\{p_0, p_1\},$$

що рівнозначно неперервності $F(x)$ в точці x .

Теорему доведено.

Теорема 3. Якщо $0 < p_0 < 0.5$, то функція $F(x)$ - зростає.

Якщо $0.5 < p_0 < 1$, то функція $F(x)$ - спадає.

Доведення: Так як $x \in [0;1]$, то $x > 0$; і $F(x) > 0$, тому що $p_0, p_1 > 0$.

Нехай $0 < x < x' \leq 1$. Тоді існує таке k , що $x = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{k-1} \alpha_k \dots$

$$x' = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_{k-1} \alpha'_k \dots$$

і з нерівності $x < x'$ випливає $\alpha'_k > \alpha_k$. Тому $\alpha'_k = 1, \alpha_k = 0$.

Звідси

$$\begin{aligned} F(x) &= p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{k-1}}(p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \\ &+ p_{\alpha_k}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots \\ F(x') &= p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{k-1}}(p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \\ &+ p_{\alpha'_k}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} p_{\alpha_{k-3}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots \\ F(x') - F(x) &= [p_{\alpha'_k}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} \dots p_{\alpha_1}) - p_{\alpha_k}(p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} \dots p_{\alpha_1})] + \dots = \\ &= (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} \dots p_{\alpha_1}) [p_{\alpha'_k} - p_{\alpha_k}] + [p_{\alpha'_{k+1}} p_{\alpha'_k} - p_{\alpha_{k+1}} p_{\alpha_k}] + \dots = \\ &= (p_{\alpha_{k-1}} p_{\alpha_{k-2}} \dots p_{\alpha_1}) [p_1 - p_0] + [p_{\alpha'_{k+1}} p_1 - p_{\alpha_{k+1}} p_0] + \dots \end{aligned}$$

Якщо $0 < p_0 < 0.5$, тоді $F(x') > F(x)$. Тому функція $F(x)$ - зростає.

Якщо $0.5 < p_0 < 1$, то $F(x') < F(x)$. Тому функція $F(x)$ - спадає.

Теорему доведено.

Теорема 4. Якщо $p_0 = p_1 = 0.5$ (тобто $p_0 + p_1 = 1$), то функція $F(x) = 1$ для всіх $x \in [0;1]$. Якщо ж $p_0 \neq p_1$, то $F(x)$ в точці x_0 не має скінченну похідну, відмінну від нуля.

Доведення: Якщо $p_0 = p_1 = 0.5$, то

$$F(x) = 0.5 + \sum_{k=2}^{\infty} \prod_{j=1}^k p_{\alpha_j} = 0.5 + 0.5^2 + 0.5^3 + \dots = \frac{0.5}{1-0.5} = 1$$

Розглянемо тепер випадок, коли $p_0 \neq p_1$. Нехай x_0 - довільна точка $[0;1]$, а

$$\delta_n(x_0) = \frac{F(x'_n) - F(x_n)}{x'_n - x_0}, \text{ де } x_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_n \alpha_{n+1} \alpha_{n+2} \dots$$

$$x_n = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_n \quad x'_n = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_n + \frac{1}{2^n}.$$

$$F(x_0) = p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_n}(p_{\alpha_{n-1}} p_{\alpha_{n-2}} \dots p_{\alpha_1}) +$$

$$+ p_{\alpha_{n+1}}(p_{\alpha_n} p_{\alpha_{n-1}} p_{\alpha_{n-2}} \dots p_{\alpha_1}) + \dots$$

$$F(x_n) = p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_n}(p_{\alpha_{n-1}} p_{\alpha_{n-2}} \dots p_{\alpha_1})$$

$$F(x'_n) = p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{n-1}}(p_{\alpha_{n-2}} p_{\alpha_{n-3}} \dots p_{\alpha_1}) +$$

$$+ p_{\alpha_n}(p_{\alpha_{n-1}} p_{\alpha_{n-2}} p_{\alpha_{n-3}} \dots p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_1}(p_{\alpha_{n-1}} p_{\alpha_{n-2}} p_{\alpha_{n-3}} \dots p_{\alpha_1}) =$$

$$= p_{\alpha_1} + p_{\alpha_2}(p_{\alpha_1}) + p_{\alpha_3}(p_{\alpha_2} p_{\alpha_1}) + \dots + p_{\alpha_{n-1}}(p_{\alpha_{n-2}} p_{\alpha_{n-3}} \dots p_{\alpha_1}) +$$

$$+ (p_{\alpha_n} + p_1)(p_{\alpha_{n-1}} p_{\alpha_{n-2}} p_{\alpha_{n-3}} \dots p_{\alpha_1})$$

Тоді, у випадку існування похідної в точці x_0 , матимемо

$$F'(x_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \delta_n(x_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{p_1 \prod_{j=1}^{n-1} p_{\alpha_j}}{2^{-n}}.$$

Якщо припустити, що знайдеться точка x_0 така, що існує похідна $F'(x_0) \neq 0$ і скінченна, то

$$1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\delta_n(x_0)}{\delta_{n-1}(x_0)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{p_1 \prod_{j=1}^{n-1} p_{\alpha_j}}{2^{-n}} \div \frac{p_1 \prod_{j=1}^{n-2} p_{\alpha_j}}{2^{-(n-1)}} \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{p_{\alpha_{n-1}} p_1 \prod_{j=1}^{n-2} p_{\alpha_j}}{2^{-n}} \cdot \frac{2^{-n} 2}{p_1 \prod_{j=1}^{n-2} p_{\alpha_j}} \right) = 2 \lim_{n \rightarrow \infty} p_{\alpha_{n-1}}.$$

Якщо $p_{\alpha_{n-1}} = p_0$, то $1 = 2p_0$, тоді $p_0 = 0.5, p_1 = 0.5$.

Якщо $p_{\alpha_{n-1}} = p_1$, то $1 = 2p_1$, тоді $p_1 = 0.5, p_0 = 0.5$.

Обидва з можливих випадків приводять до протиріччя з $p_0 = 0.5, p_1 = 0.5$. Отже, для функції $F(3)$ не існує точок зі скінченною і відмінною від нуля похідною.

Теорему доведено.

Література

1. Фізическіе і комп'ютерніе технології в народному господарстві. Труды 5-й Международной научно-технической конференции, 28 - 29 мая 2002 г. - Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 г. - 771с.
2. Турбин А.Ф., Працевитый Н.В. Фрактальные множества, функции, распределения, - К., Наукова думка, 1992 - 207с.
3. Працевитый М.В. Фрактальный підхід у дослідженнях сингулярних розподілів, - К., НПУ імені М.П. Драгоманова, 1998 - 296с.

УДК 519.21

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ХАОТИЧНИХ СИСТЕМАХ.

Новіков В.В., докт. фіз.-мат. наук, проф., Комкова О.А.

(м. Одеса, Україна)

In work was undertake the attempt of the elaboration of mathematical apparatus for the calculation of physics process in chaotic systems.

Будемо говорити, що функція $f(x)$ належить класу функцій G^α , якщо виконуються наступні умови:

1) вона неперервна;

2) повний приріст $\Delta f(x) = f(x + \Delta x) - f(x)$ можна подати у вигляді

$$\Delta f(x) = A(\Delta x)^\alpha + \beta(x)(\Delta x)^\alpha, (\lim \beta(x) \rightarrow 0 \text{ якщо } \Delta x \rightarrow 0);$$

3) $f(x)$ самоподібна;

4) має розмірність Хаусдорфа-Безиковича, відмінну від топологічної (найчастіше дробову).

Для функції $f(x)$ визначимо різницю (приріст) m -го порядку в точці X , як

$$\Delta_h^{\alpha, m} f(x) = \sum_{k=0}^m (-1)^k C_m^k f(x - kh), \quad m > 0, m = 1, 2, \dots, \quad C_m^k = \binom{m}{k} = \frac{m!}{k!(m-k)!}, \quad \text{якщо } m \geq k \text{ і } C_m^k = 0, \quad \text{якщо } 0 \leq m < k$$

Т.я. $C(m) = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{m}{k} < \infty$, то ряд збігається абсолютно і рівномірно при всіх $m > 0$ для будь-якої обмеженої функції.

Різницю назвемо лівосторонню, якщо $h > 0$, і правосторонню, якщо $h < 0$.

Функцію $f_{\pm}^{(\alpha, m)}(x) = \lim_{h \rightarrow +0} \frac{\Delta_{\pm h}^{\alpha, m} f(x)}{(h^{\alpha})^m}$ будемо називати дробовою похідною m порядку.

Надалі будемо розглядати всюди неперервні, однозначні функції однієї змінної X . Необхідно відзначити, що множина фрактальних функцій набагато більша множини гладких функцій, і в даний час знаходять широке застосування при опису хаотичних систем [1].

Теорема: Якщо функція $f(x)$ неперервна, самоподібна, має розмірність Хаусдорфа-Безиковича, відмінну від топологічної, і повний приріст функції $f(x)$ $\Delta f(x) = f(x + \Delta x) - f(x)$ можна подати у вигляді $\Delta f(x) = A(\Delta x)^{\alpha} + \beta(x)(\Delta x)^{\alpha}$, ($\lim \beta(x) \rightarrow 0$ якщо $\Delta x \rightarrow 0$), тоді функція $f(x)$

розкладається в ряд $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k (x_0 - x)^{\alpha k}$, де $a_k = \frac{j^k}{k!} f^{(\alpha, k)}(x_0)$, j — гіллястість фрактальної множини; α —

розмірність Хаусдорфа-Безиковича фрактальної множини; $f_+^{(\alpha, k)}(x_0) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta^{\alpha, k} f(x_0)}{(\Delta x)^{\alpha k}}$ — дробова похідна k -го

порядку функції $f(x)$ в точці $x = x_0$; $\Delta^{\alpha, k} f(x_0) = \sum_{n=0}^m [-1]^n C_m^k (f(x_0 - k\Delta x))^n$ — k -тий приріст функції $f(x)$ в точці x_0 .

Доведення. Нехай на множині Ω задана функція $f(x)$, яка належить класу функцій G^{α} і нехай точка $x = x_0$ і її оточення належить множини Ω , розмірність якої $0 < \alpha \leq 1$. Розіб'ємо відрізок $[x; x_0]$ таким чином, щоб на n -му масштабному рівні довжина k -ої ділянки розбивки була рівна:

$\Delta x_k^{(n)} = \zeta^n \cdot (x_0 - x)$, $x_0 - x > 0$, де ζ — масштабний фактор ($\zeta < 1$, $\zeta^{-\alpha} = j$). Тоді число точок розбивки відрізка $[x; x_0]$ на n -тім етапі дорівнює: $m_n = 1, 2, \dots, j^{n+1}$, де j — число блоків (гіллястість), яку можна визначити, як відношення точок розбивки на k -тому рівні N_k до числа точок розбивки відрізка на $(k-1)$ рівні N_{k-1} . Наприклад для множини Кантора $j = 2$ [2]. Одиницею виміру на n -тім етапі виберемо Δx^{α} :

$$[\Delta x_k^{(n)}]^{\alpha} = \zeta^{n\alpha} (x_0 - x)^{\alpha}. \quad (1)$$

Надалі приріст аргументу функції на n -му масштабному рівні $\Delta x_k^{(n)}$ будемо позначати Δx , тобто $\Delta x = \Delta x_k^{(n)}$ і координати точок розбивки на n -му масштабному рівні визначаються у вигляді $x_k = x_0 - k\Delta x$, де

$k = 0, 1, 2, \dots, j^{n+1}$. Відповідно до визначення фрактальної розмірності α , виконується [3] $\left(\frac{1}{\zeta}\right)^{n\alpha} = N_n$. При цьому

$[\Delta x]^{\alpha} = (x_0 - x)^{\alpha} / \left(\frac{1}{\zeta}\right)^{n\alpha}$, $[\Delta x]^{\alpha} = [(x_0 - x)^{\alpha} / N_n]$, $\left(\frac{1}{\zeta}\right)^{n\alpha} = N_n$, де $N_1 = j^1, \dots, N_n = j^n$, т.т. $N_n = j^n$ — визначає число відрізків на n -му масштабному рівні.

Розглянемо приріст функції $\Delta^{\alpha, 1} f(x_0) = f(x_0) - f(x_0 - \Delta x)$

Цей приріст будемо називати першою різницею. Можна визначити другу різницю $\Delta^{\alpha, 2} f(x)$ як квадрат оператора $\Delta^{\alpha, 1}$: $\Delta^{\alpha, 2} f(x_0) = f(x_0) - 2f(x_0 - \Delta x) + f(x_0 - 2\Delta x)$

Третю різницю, аналогічно, можна одержати у вигляді

$$\Delta^{\alpha, 3} f(x_0) = f(x_0) - 3f(x_0 - \Delta x) + 3f(x_0 - 2\Delta x) - f(x_0 - 3\Delta x).$$

Звідси випливає, що m - а різниця $\Delta^{\alpha, m} f(x)$ визначається через біноміальні коефіцієнти.

$$\Delta^{\alpha, m} f(x_0) = \sum_{k=0}^m (-1)^k C_m^k (f(x_0 - k\Delta x)), \quad C_m^k = \frac{m!}{k!(m-k)!}, \quad m = j^{n+1}.$$

З іншого боку, безпосередньо з визначення $\Delta^{\alpha, 1}$: $\Delta^{\alpha, 1} f(x_0) = f(x_0) - f(x_0 - \Delta x)$ випливає

$$f(x_0 - \Delta x) = f(x_0) - \Delta^{\alpha,1} f(x_0) = (1 - \Delta^{\alpha,1}) f(x_0), \quad (2)$$

де 1 визначається як символ тотожного оператора. Тоді використовуючи (2) можна записати

$$f(x_0 - 2\Delta x) = (1 - \Delta^{\alpha,1}) f(x_0 - \Delta x) = (1 - \Delta^{\alpha,1})^2 f(x_0).$$

У загальному випадку $f(x_0 - k\Delta x) = (1 - \Delta^{\alpha,1})^k f(x_0)$.

Звідси випливає, що $f(x) = (1 - \Delta^{\alpha,1})^m f(x_0)$, де $x = x_0 - m \cdot \Delta x$, $m = j^{n+1}$ — число точок розбивки на n -ому відрізку. Таким чином, $f(x)$ можна визначити у вигляді:

$$f(x) = \sum_{k=0}^m [-1]^k C_m^k \Delta^{\alpha,k} f(x_0) \quad (3)$$

Загальний член суми в правій частині (3) перетворимо до вигляду

$$C_m^k \Delta^{\alpha,k} f(x_0) = C_m^k \frac{\Delta^{\alpha,k} f(x_0)}{([\Delta x]^\alpha)^k} ([\Delta x]^\alpha)^k = \frac{m!}{k!(m-k)!} \frac{\Delta^{\alpha,k} f(x_0) (x_0 - x)^{\alpha k}}{([\Delta x]^\alpha)^k N_n^k} = P_{mk} \frac{\Delta^{\alpha,k} f(x_0)}{k!([\Delta x]^\alpha)^k} (x_0 - x)^{\alpha k},$$

$$\text{де } P_{mk} = \frac{m(m-1)\dots(m-k+1)}{N_n^k}, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

$$\text{Отже } f(x) = \sum_{k=0}^m [-1]^k \frac{P_{mk}}{k!} \frac{\Delta^{\alpha,k} f(x_0)}{([\Delta x]^\alpha)^k} (x_0 - x)^{\alpha k}.$$

При нескінченно великому m ($m \rightarrow \infty$, $m = j^{n+1}$) одержуємо аналог ряду Тейлора для функції

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{j^k f^{(\alpha,k)}(x_0)}{k!} (x_0 - x)^{\alpha k}, \quad \text{або } f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k (x_0 - x)^{\alpha k},$$

$$\text{де } a_k = \frac{j^k}{k!} \cdot f^{(\alpha,k)}(x_0), \quad f^{(\alpha,k)}(x_0) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta^{\alpha,k} f(x_0)}{([\Delta x]^\alpha)^k}.$$

Якщо ($k = 1$), то

$$f^{(\alpha)}(x_0) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta^\alpha f(x_0)}{[\Delta x]^\alpha} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0) - f(x_0 - \Delta x)}{[\Delta x]^\alpha}.$$

Теорему доведено.

Теорема 2. Функція $F(x)$ - неперервна, де $F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}$, $\alpha_k(x)$ - k -та двійкова цифра x ,

тобто $x = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k(x)}{2^k}$, $\alpha_k(x) \in \{0,1\}$, p_0 - фіксоване число $0 < p_0 < 1$; $p_1 = 1 - p_0$.

Теорема 3. Функція $F(x)$ ніде недиференцируемая, де $F(x) = p_{\alpha_1(x)} + \sum_{k=2}^{\infty} p_{\alpha_k(x)} \prod_{j=1}^{k-1} p_{\alpha_j(x)}$, $\alpha_k(x)$ - k -та

двійкова цифра x , тобто $x = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k(x)}{2^k}$, $\alpha_k(x) \in \{0,1\}$, p_0 - фіксоване число $0 < p_0 < 1$; $p_1 = 1 - p_0$.

Аналогічно локальній дробовій похідній, можна дати визначення інтеграла від функції $f(x)$ на фрактальній множині Ω_f . Складемо інтегральну суму на відрізку $[a; x]$, що належить Ω_f

$$\begin{aligned} \sum_f &= [f(a) + f(a - \Delta x) + \dots + f(a - (n-1)\Delta x)] [\Delta x]^\alpha = \\ &= \sum_{k=1}^n f(a - (k-1)\Delta x) [\Delta x]^\alpha, \quad x = a - (n-1)\Delta x \end{aligned}$$

Інтеграл буде дорівнює границі від інтегральної суми

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ (\Delta x \rightarrow 0)}} \sum_f = I(x), \quad \int_a^x f(x) [dx]^\alpha = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ (\Delta x \rightarrow 0)}} \sum_f.$$

На кінцевому відрізку $[a; b]$ маємо

$$\int_a^b f(x) [dx]^\alpha = \lim_{(\Delta x \rightarrow 0, n \rightarrow \infty)} \sum_{k=1}^n f(x_0 - (k-1)\Delta x) [\Delta x]^\alpha, \quad b = a - (n-1)\Delta x, \quad \text{тоді } \Delta x_1^\alpha + \Delta x_2^\alpha + \dots + \Delta x_n^\alpha = (b-a)^\alpha$$

Введемо оператор дробового локального диференціювання D^α у виді

$$D^{\alpha} f(x) = \frac{d^{\alpha} f(x)}{[d(x-a)]^{\alpha}} = \lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x) - f(a)}{[x-a]^{\alpha}}, \quad 0 < \alpha \leq 1,$$

Оператор дробового локального інтегрування I^{α} визначимо у вигляді

$$I^{\alpha} f(x) = \int_a^x f(x) [dx]^{\alpha} = \Phi(x),$$

де функція $\Phi(x)$ – функція області.

Теорема 4. Якщо функція $f(x) \in G^{\alpha}$, то $D^{1-\alpha} \Phi(x, a) = f(x)$, де $\Phi(x, a) = C \cdot \int_a^x \frac{[f(t) - f(a)]}{(x-t)^{\alpha}} dt$, де $C = \frac{\Gamma(2-\alpha)}{\Gamma(1-\alpha)}$,

$0 \leq \alpha < 1$.

Наслідки:

- 1) Перетворення Лапласа функції $\Phi(x)$ дорівнює $L[\Phi(x)] = C \frac{\Gamma(1-\alpha)}{p^{1-\alpha}} L[\varphi(x)]$, де $\varphi(x) = f(x) - f(a)$.
- 2) Перетворення Фур'є функції $\Phi(x)$ дорівнює $F[\Phi(x)] = C \frac{\Gamma(1-\alpha)}{(i\omega)^{1-\alpha}} F[\varphi(x)]$.
- 3) Перетворення Лапласа функції $D_{x-a}^{\alpha} f(x)$ дорівнює $L[D_{x-a}^{\alpha} f(x)] = C \frac{\Gamma(1-\alpha)}{p^{-\alpha}} L[\varphi(x)]$.
- 4) Перетворення Фур'є функції $D_{x-a}^{\alpha} f(x)$ дорівнює $F[D_{x-a}^{\alpha} f(x)] = C \frac{\Gamma(1-\alpha)}{(i\omega)^{-\alpha}} F[\varphi(x)]$.

Література

1. Hilfer R. Applications of Fractional calculus in Physics.—World Scientific, London, 2000.— 362 p.
2. Александров П.С. Введение в общую теорию множеств и функций.— М.,Л.: ОГИЗ, 1948.— С. 136 — 147.
3. Федер Е. Фракталы. —М.: Мир, 1991.- С. 123-137.

УДК 631.362

СТІЙКІСТЬ НЕЛІНІЙНИХ КОЛИВАНЬ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВІБРОСЕПАРАТОРА В НЕРЕЗОНАНСНОМУ ВИПАДКУ

Сметанкін В.О., канд. техн. наук, доц., Ільїн В.Я., Ільїн І.В.

(м. Харків, Україна)

The research of stability of nonlinear vibration of an end-effector of vibration separator under unresonance condition is carried out. It is established that the vibration of an end-effector of vibration separator foreseen by technological process remains linear. The forced vibration in direction of a coordinate defining center of gravity position of vibrating part and angular coordinate occurs only. The vibration in direction of remaining four coordinates does not arise.

У нелінійних коливних системах, до яких також можна віднести вібросепаратори, зовнішні збурюючі сили, як правило, діють тільки в напрямку деяких координат, як це передбачається відповідним технологічним процесом. У таких коливних системах можливий перерозподіл енергії, яка підводиться зовні, так що в напрямку незбурених координат можуть виникнути інтенсивні коливання, які спричиняють зміну запланованого технологічного процесу. Можливість такого перерозподілу енергії виникає за рахунок того, що точні рівняння руху робочого органу вібросепаратора мають нелінійні зв'язки між збуреними координатами і координатами, вільними від зовнішніх сил. Такі непрямо збурені коливання можуть бути малими і не змінювати технологічний процес. Але при певних умовах такі коливання можуть стати інтенсивними. Тому потрібно знати сукупність параметрів коливної системи, при якій виникають несприятливі умови розподілу зовнішньої енергії по координатах. Такі непрямо збурені нелінійні коливання вперше вивчалися у монографії [1]. Для зерноочишувальних вібраційних машин (вібросепараторів) в подібній постановці задачі розв'язувались в роботі [2].

У даній роботі досліджуються нелінійні коливання вібраційної зерноочишувальної машини з гвинтовими коливаннями робочого органу в нерезонансному випадку. Розрахункова схема такої машини та виведення диференціальних рівнянь руху з точністю до величини першого порядку наведені в роботі [3]. У статті [4] для дослідження нелінійних коливань вищезгаданого вібросепаратора були одержані диференціальні рівняння руху коливної системи з точністю до величини третього порядку. Ці рівняння описують малі коливання центра мас коливної частини вібраційної зерноочишувальної машини з гвинтовими коливаннями робочого органу. Положення віброуючої (коливної) частини сепаратора визначаються трьома лінійними координатами ξ, η, ζ , що визначають положення центра ваги віброуючої частини, і трьома кутовими координатами θ, ψ, φ , які визначають кути повороту коливної системи навколо осей ξ, ψ, ζ , зв'язаних непорушно з коливною системою і співпадаючих з осями ξ, η, ζ в стані спокою.

При розв'язуванні задачі в лінійному наближенні в даній вібраційній машині вібратор повинен збурювати коливання, які зв'язані тільки зі зміною лінійної координати ξ і кутової координати φ . В цьому випадку робочий орган машини буде здійснювати гвинтові коливання навколо вертикальної осі. Але точні рівняння руху робочого органу [4] мають нелінійний зв'язок між координатами $\xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \varphi$ та їх похідними. Ці зв'язки приводять до непрямого збудження коливань в напрямку координат ξ, η, θ, ψ , в напрямку яких не діють збурюючі сили.

Для дослідження стійкості нелінійних коливань вище означеного вібратора будуються наближені розв'язки системи диференціальних рівнянь руху коливної частини. З цією метою вводиться малий параметр μ , який характеризує малість членів другого порядку відносно координат $\xi, \eta, \zeta, \theta, \psi, \varphi$ та їх похідних і сил, що містять величини $M_1, I_{x_1}, I_{y_1}, I_{z_1}$, в порівнянні з членами першого порядку.

Диференціальні рівняння руху коливної системи можуть бути записані у вигляді

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} + P_\xi^2 \xi &= \mu \Phi_\xi(\dot{\xi}, \phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}, t); \quad \ddot{\eta} + P_\eta^2 \eta = \mu \Phi_\eta(\dot{\eta}, \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}, t); \quad \ddot{\zeta} + P_\zeta^2 \zeta = \mu \Phi_\zeta(\zeta, \theta, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\phi}, t) + F_\zeta \cos \omega t; \\ \ddot{\theta} + P_\theta^2 \theta &= \mu \Phi_\theta(\eta, \zeta, \theta, \phi, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\phi}, \ddot{\zeta}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi}, t); \quad \ddot{\phi} + P_\phi^2 \phi = \mu \Phi_\phi(\xi, \zeta, \theta, \phi, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\zeta}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi}, t); \\ \ddot{\varphi} + P_\varphi^2 \varphi &= \mu \Phi_\varphi(\theta, \phi, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\phi}, t) + F_\varphi \cos(\omega t + \pi). \end{aligned} \quad (1)$$

Зміст всіх позначень і вирази для $M_1, I_{x_1}, I_{y_1}, I_{z_1}$ та функції Φ_j , ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) наведені у роботі [4].

У випадку, коли відсутні резонансні співвідношення як між частотою зовнішнього збудження і власними частотами коливної системи, так і між самими власними частотами. Стійкість нелінійних коливань в такому нерезонансному випадку досліджувалась для вібратора з прямолінійними коливаннями робочого органу у вертикальній площині [5]. При $\mu = 0$ із (1) одержимо породжуючу систему, частинний розв'язок якої має вигляд

$$\xi = \eta = \theta = \phi = 0; \quad \dot{\xi} = \dot{\eta} = \dot{\theta} = \dot{\phi} = 0; \quad \zeta = F_\zeta \cos \omega t / (P_\zeta^2 - \omega^2); \quad \varphi = F_\varphi \cos(\omega t + \pi) / (P_\varphi^2 - \omega^2). \quad (2)$$

Розв'язки (2) відповідають вимушеним, обумовленим обертанням дебалансів вібратора, коливанням робочого органу вібратора з частотою ω . Це ті коливання, що передбачені технологічним процесом. Для дослідження стійкості цих коливань знаходяться асимптотичні розв'язки системи (1) за методом усереднення [4].

Вважаючи $\mu=0$, загальні розв'язки системи (1) можна записати так

$$\begin{aligned} \xi &= C_\xi e^{iP_\xi t} + D_\xi e^{-iP_\xi t}; \quad \dot{\xi} = iP_\xi(C_\xi e^{iP_\xi t} - D_\xi e^{-iP_\xi t}); \quad \eta = C_\eta e^{iP_\eta t} + D_\eta e^{-iP_\eta t}; \quad \dot{\eta} = iP_\eta(C_\eta e^{iP_\eta t} - D_\eta e^{-iP_\eta t}); \\ \zeta &= C_\zeta e^{iP_\zeta t} + D_\zeta e^{-iP_\zeta t} + A_\zeta e^{i\omega t} + B_\zeta e^{-i\omega t}; \quad \dot{\zeta} = iP_\zeta(C_\zeta e^{iP_\zeta t} - D_\zeta e^{-iP_\zeta t}) + i\omega(A_\zeta e^{i\omega t} - B_\zeta e^{-i\omega t}); \\ \theta &= C_\theta e^{iP_\theta t} + D_\theta e^{-iP_\theta t}; \quad \dot{\theta} = iP_\theta(C_\theta e^{iP_\theta t} - D_\theta e^{-iP_\theta t}); \quad \phi = C_\phi e^{iP_\phi t} + D_\phi e^{-iP_\phi t}; \quad \dot{\phi} = iP_\phi(C_\phi e^{iP_\phi t} - D_\phi e^{-iP_\phi t}); \\ \varphi &= C_\varphi e^{iP_\varphi t} + D_\varphi e^{-iP_\varphi t} - A_\varphi e^{i\omega t} - B_\varphi e^{-i\omega t}; \quad \dot{\varphi} = iP_\varphi(C_\varphi e^{iP_\varphi t} - D_\varphi e^{-iP_\varphi t}) - i\omega(A_\varphi e^{i\omega t} - B_\varphi e^{-i\omega t}). \end{aligned} \quad (3)$$

В розв'язках (3) величини C_j, D_j ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) довільні сталі; A_l, B_l ($l = \zeta, \varphi$) – амплітуди коливань системи при $\Phi_\zeta = 0, \Phi_\varphi = 0$, $A_\zeta = B_\zeta = 0,5 F_\zeta / (P_\zeta^2 - \omega^2)$, $A_\varphi = B_\varphi = 0,5 F_\varphi / (P_\varphi^2 - \omega^2)$.

Приймаючи довільні сталі C_j, D_j , ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) в якості нових невідомих замість $\xi, \dot{\xi}, \eta, \dot{\eta}, \zeta, \dot{\zeta}, \theta, \dot{\theta}, \phi, \dot{\phi}, \varphi, \dot{\varphi}$, вводимо заміну змінних (3). Вважаючи C_j, D_j функціями часу t , диференціюємо $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \dot{\varphi}$ (3) по t . Підставляючи одержані вирази для других похідних та (3) в систему (1), одержимо ще шість рівнянь відносно нових змінних \dot{C}_j, \dot{D}_j ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$)

$$\begin{aligned} \dot{C}_\xi e^{iP_\xi t} + \dot{D}_\xi e^{-iP_\xi t} &= 0; \quad \dot{C}_\theta e^{iP_\theta t} + \dot{D}_\theta e^{-iP_\theta t} = 0; \quad \dot{C}_\eta e^{iP_\eta t} + \dot{D}_\eta e^{-iP_\eta t} = 0; \quad \dot{C}_\phi e^{iP_\phi t} + \dot{D}_\phi e^{-iP_\phi t} = 0; \\ \dot{C}_\zeta e^{iP_\zeta t} + \dot{D}_\zeta e^{-iP_\zeta t} &= 0; \quad \dot{C}_\varphi e^{iP_\varphi t} + \dot{D}_\varphi e^{-iP_\varphi t} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Розв'язуючи (4) відносно \dot{C}_j, \dot{D}_j , одержимо систему диференціальних рівнянь в стандартній формі відносно обвідних C_j, D_j ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$)

$$\begin{aligned} \dot{C}_\xi &= \frac{1}{2iP_\xi} e^{-iP_\xi t} [\mu \Phi_\xi^*]; \quad \dot{D}_\xi = \frac{1}{2iP_\xi} e^{-iP_\xi t} [\mu \Phi_\xi^*]; \quad \dot{C}_\eta = \frac{1}{2iP_\eta} e^{-iP_\eta t} [\mu \Phi_\eta^*]; \quad \dot{D}_\eta = \frac{1}{2iP_\eta} e^{-iP_\eta t} [\mu \Phi_\eta^*]; \\ \dot{C}_\zeta &= \frac{1}{2iP_\zeta} e^{-iP_\zeta t} [\mu \Phi_\zeta^*]; \quad \dot{D}_\zeta = \frac{1}{2iP_\zeta} e^{-iP_\zeta t} [\mu \Phi_\zeta^*]; \quad \dot{C}_\theta = \frac{1}{2iP_\theta} e^{-iP_\theta t} [\mu \Phi_\theta^*]; \quad \dot{D}_\theta = \frac{1}{2iP_\theta} e^{-iP_\theta t} [\mu \Phi_\theta^*]; \\ \dot{C}_\phi &= \frac{1}{2iP_\phi} e^{-iP_\phi t} [\mu \Phi_\phi^*]; \quad \dot{D}_\phi = \frac{1}{2iP_\phi} e^{-iP_\phi t} [\mu \Phi_\phi^*]; \quad \dot{C}_\varphi = \frac{1}{2iP_\varphi} e^{-iP_\varphi t} [\mu \Phi_\varphi^*]; \quad \dot{D}_\varphi = \frac{1}{2iP_\varphi} e^{-iP_\varphi t} [\mu \Phi_\varphi^*]. \end{aligned} \quad (5)$$

Функції Φ_j^* ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) в (4) одержані із Φ_j згідно з вищезазначеною заміною змінних (3). Праві частини рівнянь (5) є функції порядку малости μ , а тому функції C_j, D_j ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) будуть функціями, які повільно змінюються. Усереднимо (5) по часу t , що явно входить в рівняння. Для цього від правих частин (5) беремо

інтеграла [6] $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$. Стійкість розв'язків (2) можна визначити із системи лінійних диференціальних

рівнянь для обвідних C_j, D_j . Ці допоміжні лінійні рівняння одержимо із усереднених рівнянь, відкидаючи в них нелінійні члени. Очевидно, що ця система має частинний розв'язок

$$C_j = D_j = 0 \quad (j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi), \quad (6)$$

який відповідає розв'язку (2) системи (1). Після інтегрування одержимо

$$\begin{aligned} C_\xi &= M_\xi e^{-\frac{\mu}{2} h_\xi t}; & D_\xi &= N_\xi e^{-\frac{\mu}{2} h_\xi t}; & C_\eta &= M_\eta e^{-\frac{\mu}{2} h_\eta t}; & D_\eta &= N_\eta e^{-\frac{\mu}{2} h_\eta t}; & C_\zeta &= M_\zeta e^{-\frac{\mu}{2} h_\zeta t}; & D_\zeta &= N_\zeta e^{-\frac{\mu}{2} h_\zeta t}; \\ C_\theta &= M_\theta e^{-\frac{\mu}{2} (-h_\theta + ib_1) t}; & D_\theta &= N_\theta e^{-\frac{\mu}{2} (-h_\theta - ib_1) t}; & C_\phi &= M_\phi e^{-\frac{\mu}{2} (-h_\phi + ib_2) t}; \\ D_\phi &= N_\phi e^{-\frac{\mu}{2} (-h_\phi - ib_2) t}; & C_\varphi &= M_\varphi e^{-\frac{\mu}{2} h_\varphi t}; & D_\varphi &= N_\varphi e^{-\frac{\mu}{2} h_\varphi t}. \end{aligned} \quad (7)$$

де M_j, N_j ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) – довільні сталі; $b_1 = I_{x_1} r \left(\frac{A_\xi \omega^2 \sin \alpha}{P_\theta} + 2A_\phi P_\theta a \cos \alpha \right)$;

$$b_2 = I_{y_1} r \left(\frac{A_\xi \omega^2 \sin \alpha}{P_\phi} + 2A_\theta P_\phi a \cos \alpha \right).$$

Підставляючи (7) в розв'язки (3), одержимо для координат $\xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$ вирази, що описують коливання робочого органу віброseparatora. Оскільки всі величини h_j ($j = \xi, \eta, \zeta, \theta, \phi, \varphi$) додатні, як сили опору рухові, то одержані із (3) вирази, в яких C_j, D_j замінено за допомогою (7), з впливом часу прямують до розв'язків (6). Тому розв'язки (2) є стійкими асимптотично.

Отже, заплановані технологічним процесом коливання робочого процесу віброseparatora зберігають лінійну форму – мають місце тільки вимушені коливання в напрямку координат ζ і ϕ . Коливання в напрямку інших чотирьох координат не виникають.

Література

1. Ганиев Р.Ф. Некоторые задачи устойчивости при нелинейных колебаниях твёрдого тела. Колебания и устойчивость приборов, машин и элементов систем управления. – М.: Наука, 1968. – 300 с.
2. Гриднев С.А., Заика П.М., Паращенко М.Н., Поддубный М.Н. Устойчивость нелинейных колебаний вибрационной машины с круговыми колебаниями в вертикальной плоскости // Математические методы решения инженерных и экономических задач. Сб. науч. тр. ХИМЭСХ. – 1971. – Вып.20. – С. 25-30.
3. Заика П.М. Динамика вибрационной зерноочистительной машины с винтовыми колебаниями рабочего органа // Математические методы решения инженерных и экономических задач. Сб. науч. тр. ХИМЭСХ. – 1971. – Вып.20. – С. 31-35.
4. Заика П.М., Ильин В.Я. Устойчивость колебаний в направлении линейных координат вибрационной зерноочистительной машины с винтовыми колебаниями рабочего органа // Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач. Сб. науч. тр. МИИСП. – М., 1973. – Т.8. – Вып. 6, Ч. 2. – С. 28-31.
5. Ильин В.Я. Устойчивость колебаний рабочего органа виброseparatora в нерезонансном случае // Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин. Сб. науч. тр. МИИСП. – М., 1986. – С.103-108.
6. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974. – 504 с.

УДК 621.923

РЕЗОНАНС МОЛЕКУЛЫ И АТОМА В ЛАЗЕРНЫХ ЛУЧАХ

Дудин А.Т.

(г. Евпатория, Украина)

The methods of effect of laser beams on atoms and molecules are reviewed.

Ориентируясь на доступные материалы по применению лазерного луча для обнаружения молекул и атомов с резонансным излучением или электромагнитных волн, а также учитывая то, что в открытии методов КРС и КАРС резонанс и переход молекул и атомов на новый уровень с излучением электромагнитных волн осуществляется на длине волны собственных колебаний молекулы атома, мы пришли к выводу, что возможно получение такого же результата, применяя другие методы воздействия лазерными лучами на молекулы и атомы. Применяя манипулирование разными параметрами лазерного луча, по особому закону, расширяем методы воздействия лазерных лучей на атомы и молекулы, что дополняет познания в области лазерных лучей и квантовой механи-

ки, расширяет возможности применения лазерных лучей, повышает их эффективность, КПД. Анализируя метод когерентного антистоксова рассеивания света (КАРС), при котором молекулы облучаются двумя перестраивающимися лучами лазера, и разность их частот $V_1 - V_2 = \Delta V$ совпадает с резонансной частотой молекулы $V_{\text{мол}}$. В результате происходит их раскачка, т.е. перевод на более высокий уровень.

Задавая вопрос, почему два излучения с длинами волн не когерентными собственным колебаниям молекул (где только разница этих колебаний соответствует резонансу молекул), способны привести молекулы в резонанс, да еще с эффектом в миллионы раз больше, чем при облучении одним лазерным лучом по методу КРС? Ответ находим из результата сложения этих волн, получая результирующую волну, где периодически возникают участки с частотой резонанса молекулы, и амплитудой, равной сумме этих амплитуд.

Резонанс молекулы, атома можно получить, применяя один луч с перестраивающейся длиной волны, а другой – с постоянной длиной волны, или воздействием двух лучей с перестраивающимися длинами волн, если будут возникать участки, где разность их частот совпадает с резонансной частотой молекулы, атома. То есть в резонанс молекулы, атома приходят на этих коротких участках, где частота колебаний (длина волны), с наивысшей амплитудой, равна частоте собственных колебаний молекулы, атома.

Отсюда следует вывод, что получить такие участки можно группой лучей, например: два луча с постоянной длиной волны и один с самоперестраивающейся; один луч с постоянной длиной волны и два с самоперестраивающейся; три луча с самоперестраивающимися длинами волн; три луча с постоянной длиной волны и другие варианты. Получить резонанс молекул, атомов можно на частотах волн (отличных от частоты собственных колебаний молекул и атомов), если с ними проделать определенные манипуляции, т.е. расширить практическое применение лазерных лучей. Рассмотрим несколько возможных вариантов получения резонанса молекул и атомов, используя лазерные лучи с длиной волны, не соответствующей резонансу облучаемых молекул и атомов.

Вариант 1. Лазерный луч с частотой волны в три раза большей, чем необходимо для резонанса молекулы или атомов, делим на импульсы, пропуская через оптический затвор положительный полупериод, а через полный период пропускаем отрицательный полупериод. Многократно воздействуя на молекулы или атомы такими импульсами, вызываем раскачку их колебаний и приводим в резонанс. Такие импульсы, полупериода через полный период, можно получить и через вращающийся непрозрачный диск с отверстиями, через которые проходит лазерный луч.

Вариант 2. Допустим, частота облучающей волны в три раза больше частоты собственных колебаний молекул или атомов. Модулируем данную волну амплитудной модуляцией, периодически увеличивая ее амплитуду: один полупериод положительный, далее идет собственный полный период, а за ним амплитудная модуляция на отрицательный полупериод, т.е. всплески модуляции на облучающей частоте в три раза большей, будут равны частоте собственных колебаний молекул или атомов. Это при достаточной амплитуде модуляций приведет их в резонанс и вызовет излучение электромагнитных волн, равных частоте колебания молекул или атомов. Возникает вопрос: как же получить амплитудную модуляцию на полупериод через период?

Техническое решение такой проблемы не сложно. Для этого необходимо направить точно такой же лазерный луч через оптический затвор, предварительно добившись совпадений амплитуд, и открывать затвор на полупериод через полный период.

Запишем в общем виде. Явление резонансного излучения молекулы или атома при облучении монохроматическим светом с частотой волны в несколько раз большей собственной частоты колебания молекулы или атома, обусловленное тем, что электромагнитная волна модулируется амплитудной модуляцией. В результате этого резонанс молекулы или атома произойдет на частоте излучения лазерного луча, в несколько раз большей собственной частоты молекулы или атома - если эта частота будет модулирована последовательно полупериодами амплитудной модуляцией с противоположными знаками через один или несколько полных периодов монохроматической излучающей волны с наложением модуляции полупериода на монохроматическую волну в такт со знаком амплитуды и с частотой модуляции, равной частоте собственных колебаний молекулы или атома.

Явление резонансного излучения молекулы или атома (молекул или атомов), подобно методу КАРС, где облучение производится группой лазерных лучей, два из которых с самоперестраивающейся частотой, в несколько раз большей собственной частоты колебаний молекулы или атома, и один лазерный луч с постоянной длиной волны, обусловленное тем, что самоперестраивающиеся лазерные лучи модулируются амплитудной модуляцией. В результате резонанс молекулы или атома произойдет при амплитудных модуляциях с разными частотами, равными разнице частоты собственных колебаний молекул или атомов.

Явление резонансного излучения молекулы или атома, подобно методу КАРС (где облучение производится группой лазерных лучей, два из которых с самоперестраивающейся частотой, в несколько раз большей собственной частоты колебаний молекулы или атома, модулированные на положительном полупериоде с пропуском одного или нескольких целых периодов, и модулированные на отрицательном полупериоде, и один лазерный луч с постоянной длиной волны), обусловленное тем, что резонанс молекулы или атома произойдет при амплитудных модуляциях с разными частотами, равными разнице частоты собственных колебаний молекулы или атома.

Вариант 3. Резонансное воздействие на молекулы или атомы можно производить лазерным лучом с частотой в три раза меньшей, чем собственная частота молекул или атомов. Для этого воспользуемся двумя одинаковыми лазерными лучами. Лучи направляем через оптические затворы по одной прямой, сдвигая их по фазе, так чтобы максимум одного луча располагался от минимума другого луча, образуя полупериод собственных

колебаний молекул или атомов. Для того, чтобы данными лучами вызвать резонанс молекул или атомов с собственной частотой в три раза большей, чем лучи, надо от этих лучей с помощью оптических затворов отсечь все лишнее, т.е. из каждого луча сделать импульсы на пиках амплитуд, равных полупериоду собственных колебаний испытываемых молекул или атомов. В результате чего получаются участки с импульсами амплитуд, соответствующие собственной частоте исследуемых молекул или атомов.

Вариант 4. Точно так же можно добиться резонанса молекул или атомов, используя поворот полярности лазерного луча. Рассмотрим случай, когда частота излучения лазерного луча в три раза больше собственной частоты молекул или атомов, которые облучаем этим лучом. При положительной амплитуде поворачиваем полярность лазерного луча влево на 90° , на время положительного полупериода амплитуды. Далее возвращаем лазерный луч в прежнее положение на полную длину волны. На отрицательном полупериоде амплитуды поворачиваем полярность лазерного луча вправо на 90° , затем возвращаем его в первоначальное положение, пропуская полную длину волны, и поворачиваем на полупериод положительной амплитуды влево, и так далее. Повороты луча можно осуществлять и с помощью электромагнитных полей.

Вариант 5. При повороте полярности лазерного луча, резонанса колебаний молекул или атомов можно добиться не только на частотах в несколько раз выше, но и на частотах в несколько раз ниже. При этом поворот полярности влево на 90° и вправо на 90° делается на одном полупериоде вблизи от пика амплитуды, а при достаточно низкой частоте, то и несколько раз, с частотой колебания, равной частоте собственных колебаний молекул или атомов.

Вариант 4 и 5 запишем в общем виде. Явление резонансного излучения молекул или атомов при облучении лазерным лучом видимого и не видимого спектра с частотой волны в несколько раз отличной от собственной частоты колебания молекул или атомов, обусловленное тем, что резонанс молекул или атомов произойдет при поворотах полярности лазерного луча влево на 90° и вправо на 90° , обеспечивая в одной плоскости частоту собственных колебаний молекул или атомов.

Вариант 6. При применении двух лазерных лучей, воздействуя на них поворотом полярности, можно добиться резонанса молекул или атомов очень многими методами. Один лазерный луч с постоянной длиной волны оставляем без поворота. Второй лазерный луч с постоянной длиной волны поворачиваем так, чтобы их полярности находились в одной плоскости определенное время. Так получаем новую волну, равную сумме двух волн, которая при соответствующей частоте, равной частоте собственных колебаний молекул или атомов, вызовет их резонанс.

Поворачивая два луча, в плоскости пересечения их полярностей, возникает новая частота. Количество частот можно получить довольно значительное, если поворачивать лучи с самоперестраивающейся частотой, а так же выдерживая их в определенной плоскости заданное время.

Возможности трех лучей для получения резонансных частот возрастают во много раз. Можно вращать один луч, пересекая два других, где все лучи имеют определенную частоту. Можно вращать два луча. Применяя два луча с самоперестраивающейся частотой и один луч с постоянной частотой, и производя вращение лучей по заданному алгоритму, можно получить большое количество частот, которые могут применяться в выводе молекул или атомов в резонансное состояние. Запишем рассмотренный вариант в общем виде.

Применяя несколько лазерных лучей (где лучи могут быть с постоянной длиной волны, или постоянной и самоперестраивающейся, или с самоперестраивающейся), поворачиваем один из них или несколько по заданному алгоритму и получаем в определенных плоскостях частоты, равные собственной частоте молекул или атомов и вызываем их резонанс.

При применении группы лазерных лучей (подобно методу КАРС), где два самоперестраивающихся лазерных луча по частоте поворота полярности, и лазерным лучом с постоянной длиной волны и полярности, при разнице частот поворота полярностей, равной собственной частоте молекулы или атома, произойдет их резонанс с излучением электромагнитных волн.

Явление резонансного излучения молекулы или атома при облучении лазерным лучом видимого и невидимого спектра (подобно методу КАРС, где облучение производится группой лазерных лучей, два из которых с самоперестраивающейся частотой в несколько раз отличной от собственной частоты колебаний молекулы или атома, и один лазерный луч с постоянной длиной волны), обусловленное тем, что на самоперестраивающихся лазерных лучах поворачиваем полярность вправо (влево) и влево (вправо) на 90° с разными частотами, равными разнице частоты собственных колебаний молекулы или атома, произойдет их резонансное излучение.

Вариант 7. Резонанс молекул или атомов можно вызвать изменением импульсной добротности лазерного луча с частотой собственных колебаний молекул или атомов, от наименьшей до пиковой, применяя ее на лазерном луче с частотой в три раза большей, чем собственная частота молекул или атомов. Добротность применяется аналогично вышеописанным: амплитудной модуляции и повороту полярности лазерных лучей. Точно так же используется и по методу КАРС.

Явление резонансного излучения молекул или атомов при облучении их лазерным лучом видимого и невидимого спектра (с частотой волны в несколько раз отличной от собственной частоты колебания молекул или атомов), обусловленное тем, что используется изменение добротности от наименьшей до пиковой с частотой собственных колебаний молекул или атомов, которое вызовет их резонанс с излучением электромагнитных волн.

Явление резонанса во всех случаях может быть вызвано применением двух лазерных лучей. Методы взаимодействия их очевидны, поэтому в предыдущих вариантах, здесь и далее их описание не приводится.

Явление резонансного излучения молекул или атомов при облучении их лазерными лучами (подобно методу КАРС, где облучение производится группой лазерных лучей, два из которых с самоперестраивающейся частотой в несколько раз отличной от собственной частоты колебаний молекул или атомов, и один лазерный луч с постоянной длиной волны), обусловленное тем, что на самоперестраивающихся лазерных лучах изменяется добротность до наименьшей до пиковой с разными частотами, равными разнице частот собственных колебаний молекул или атомов, произойдет их резонансное излучение.

Вариант 8. Резонанс молекул или атомов можно вызвать перемещением лазерного луча в пространстве (сканировании) в одной плоскости на величину от долей Наноангстрем до нескольких Наноангстрем. Допустим, лазерный луч в три раза имеет большую частоту, чем собственная частота исследуемых молекул или атомов. На положительном полупериоде лазерный луч перемещаем влево, а затем пропускаем один период полностью, и на отрицательном полупериоде лазерный луч перемещаем вправо, и т.д. Выполнить это можно с помощью дефлектора, у поверхности которого при выходе лазерного луча идет перевод молекул или атомов в резонансное состояние.

Точно так же, подобно методу КАРС, изменяя частоту (сканирование) перемещения двух лазерных лучей во взаимодействии друг с другом при разнице частот перемещения равной частоте собственных колебаний молекул или атомов, произойдет их резонанс и электромагнитное излучение.

Явление резонансного излучения молекул или атомов при облучении лазерным лучом с частотой волны в несколько раз большей, чем собственная частота колебаний молекул или атомов, обусловленное тем, что используется перемещение (сканирование) лазерного луча в пространстве при положительном полупериоде лазерного луча в одну сторону, при отрицательном – в другую, пропуская при этом целые периоды.

Явление резонансного излучения молекул или атомов (при облучении их лазерными лучами, подобно методу КАРС, где облучение производится группой лазерных лучей, два из которых с самоперестраивающейся частотой в несколько раз большей собственной частоты молекул или атомов, и один лазерный луч с постоянной длиной волны), обусловленное тем, что производим перемещение (сканирование) двух лазерных лучей в пространстве в одной плоскости, где при разнице частот перемещений двух лазерных лучей, равной частоте собственных колебаний молекул или атомов, произойдет их резонансное колебание и электромагнитное излучение.

Вариант 9. Явление резонансного излучения молекул или атомов при облучении лазерным лучом видимого и невидимого спектра с частотой волны в несколько раз большей, чем собственная частота колебаний молекул или атомов, обусловленная тем, что используется одновременно или последовательно амплитудная модуляция, и перемещение (сканирование) лазерного луча в пространстве, и поворот поляризации лазерного луча, и импульсная добротность (если модулирование будет проведено на положительном полупериоде), затем, пропуская один или несколько периодов, на отрицательном полупериоде в одной плоскости. При этом частота модулирующей должна быть равна частоте собственных колебаний молекул или атомов.

Явление резонансного излучения молекул или атомов при облучении лазерными лучами видимого и невидимого спектра (подобно методу КАРС, где облучение производится группой лазерных лучей, два из которых с самоперестраивающейся частотой в несколько раз большей собственной частоты молекул или атомов, и один лазерный луч с постоянной длиной волны), обусловленное тем, что производим одновременно или последовательно модулирование амплитудной модуляцией, и поворотом поляризации, и модулирование импульсной добротности, и перемещением (сканированием) лазерного луча в пространстве в одной плоскости при модуляции одного полупериода самоперестраивающегося лазерного луча. Затем, пропуская один или несколько полных периодов, проводим модулирование другого полупериода, модулируя так два самоперестраивающихся луча, чтобы разница в частоте модуляции между самоперестраивающимися лучами равнялась собственной частоте молекул или атомов, что вызовет их резонансное колебание и электромагнитное излучение.

Выводы. Рассмотренные методы, приемы, манипуляции воздействия лазерных лучей на атомы и молекулы значительно расширяют познания в области использования и применения лазерных лучей. Открывают возможности комбинированного использования вышеуказанных методов на одном луче, двух лучах, трех лучах при фиксированных приемах, и с меняющимися параметрами воздействия, где один, два или три лазерных луча могут модулироваться перестраивающейся по частоте амплитудной модуляцией, и добротностью, и поворотом поляризации, и перемещением в пространстве, когда разница в частоте однотипных модуляций в двух лучах совпадает с резонансной частотой молекул или атомов, произойдет резонансное колебание и электромагнитное излучение их.

Эти методы позволяют искусственно создавать необходимое частотное взаимодействие лазерного луча (лучей) на частотах собственных колебаний молекул или атомов, и привести их в резонанс. Методы расширяют познания в области квантовой механики, увеличивают скорость распознавания молекул и атомов, дают возможность экономить энергию и повышают КПД лазеров. Новые методы воздействия лазерных лучей значительно дополняют и расширяют методы КРС и КАРС, что позволяет достигать наивысшего эффекта. Кроме того, получение лазерных лучей, работающих на определенных частотах, требует определенных материалов, сред, методов накачки, а указанные методы значительно расширяют возможности существующих лазеров. Данные технологии легко контролируются и выбираются ЭВМ, могут использоваться на разных частотах лазерных лучей и будут широко применяться в металлургии, технологии машиностроения, сварочном производстве и других отраслях народного хозяйства.

Математическое обеспечение вышеуказанных методов.

1. Для гармонических волн с одинаковыми периодами, но разными амплитудами и начальными фазами, распространяющимися в одном и том же направлении вдоль прямой. Результирующее колебание гармоническое с той же круговой частотой ω и амплитудой

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}.$$

Начальная фаза результирующего колебания

$$= \arctg \left[\frac{A_1 \cdot \sin \varphi_1 + A_2 \cdot \sin \varphi_2}{A_1 \cdot \cos \varphi_1 + A_2 \cdot \cos \varphi_2} \right].$$

2. Для негармонических колебаний, получающихся в результате наложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с близкими частотами ($|\omega_2 - \omega_1| \ll \omega_1$), называемыми биениями. В этом случае за начало отсчета времени t целесообразно принять тот момент, когда фазы обеих складываемых колебаний S_1 и S_2 совпадают и равны 0. Тогда

$$S_1 = A_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_0)$$

и

$$S_2 = A_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_0) = A_2 \cdot \sin[\omega_1 t + \varphi_0 + \psi(t)], \text{ где } \psi(t) = (\omega_2 - \omega_1) \cdot t.$$

Результирующие колебания $S = S_1 + S_2$ удовлетворяют соотношению

$$S = A(t) \cdot \sin[\omega_1 t + \varphi_0 + \psi(t)], \text{ где } [A(t)]^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cdot \cos \psi(t) \text{ и } \operatorname{tg} \psi(t) = \frac{A_2 \cdot \sin \psi(t)}{A_1 + A_2 \cdot \cos \psi(t)}.$$

В частности, если $A_1 = A_2 = A_0$, то

$$A(t) = 2A_0 \cdot \cos \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} \cdot t \text{ и } \psi(t) = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} \cdot t, \text{ так что } S = 2A_0 \cdot \cos \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} \cdot t \cdot \sin \left(\frac{\omega_2 + \omega_1}{2} \cdot t + \varphi_0 \right).$$

Величина $|A(t)|$, характеризующая размах колебаний при биениях, изменяется в пределах от $|A_1 - A_2|$ до $A_1 + A_2$ с циклической частотой $\Omega = |\omega_2 - \omega_1|$, называемой циклической частотой биений. Поскольку частота биений во много раз меньше частоты колебаний ($\Omega \ll \omega_1$), переменную величину $|A(t)|$ условно называют амплитудой биений. Период биений T_δ и частота биений ν_δ равны:

$$T_\delta = \frac{2\pi}{\Omega} = \frac{2\pi}{|\omega_2 - \omega_1|} = \frac{1}{\left| \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right|} \text{ и } \nu_\delta = \frac{1}{T_\delta} = |\nu_2 - \nu_1|,$$

где T_1, ν_1 и T_2, ν_2 - периоды и частоты складываемых колебаний.

1. В результате сложения гармонических колебаний, совпадающих по направлению и имеющих кратные циклические частоты $\omega, 2\omega, 3\omega$ и т.д., получаются периодические негармонические колебания с периодом $T = 2\pi / \omega$. В свою очередь, любое сложное периодическое колебание $S = f(t)$ можно представить в виде суммы простых гармонических колебаний с циклическими частотами, кратными основной циклической частоте $\omega = 2\pi / T$, где T - период колебания:

$$S = f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos n\omega t + b_n \cdot \sin n\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(n\omega t + \varphi_n),$$

$$\text{где } a_n = \frac{2}{T} \cdot \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cdot \cos n\omega t \cdot dt \quad (n=0,1,2,\dots), \quad b_n = \frac{2}{T} \cdot \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cdot \sin n\omega t \cdot dt \quad (n=1,2,\dots).$$

Такое представление периодической функции $f(t)$ называется разложением этой функции в ряде Фурье. Члены ряда Фурье, соответствующие гармоническим колебаниям с циклическими частотами $\omega, 2\omega, 3\omega$ и т.д. Совокупность этих гармоник образует спектр колебания $S = f(t)$.

4. Непериодические колебания, как правило, имеют непрерывный (сплошной) спектр частот, т.е. их можно представить как результат наложения множества гармонических колебаний, частоты которых принимают все возможные значения в некотором интервале (в общем случае от 0 до ∞). Гармонический анализ таких колебаний состоит в представлении их в виде интеграла Фурье:

$$S = f(t) = \int_0^{\infty} [a(\omega) \cdot \cos \omega t + b(\omega) \cdot \sin \omega t] \cdot d\omega,$$

$$\text{где } a(\omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) \cdot \cos \omega \xi \cdot d\xi, \quad b(\omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) \cdot \sin \omega \xi \cdot d\xi.$$

5. При амплитудной модуляции гармонические колебания

$$S = A_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

модулированные колебания имеют вид:

$$S = A_0 [1 + b(t)] \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad \text{где } |b(t)| < 1.$$

Если амплитудная модуляция осуществляется по гармоническому закону

$$b(t) = b_0 \cdot \cos \Omega \cdot t, \quad \text{где } b_0 = \text{const} \text{ и } \Omega \ll \omega_0, \text{ то } S = A_0 (1 + b_0 \cdot \cos(\Omega \cdot t)) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Это модулированное колебание имеет линейный спектр частот, так как может быть представлено в виде суммы трех гармонических колебаний с циклическими частотами $\omega_0, \omega_0 - \Omega, \omega_0 + \Omega$ и амплитудами, соответственно равными $A_0, A_0 b_0 / 2$:

$$A_0 (1 + b_0 \cdot \cos(\Omega \cdot t)) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = A_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{A_0 b_0}{2} \{ \sin[(\omega_0 + \Omega) \cdot t + \varphi_0] + \sin[(\omega_0 - \Omega) \cdot t + \varphi_0] \}.$$

При частотной модуляции гармонических колебаний $S = A_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, осуществляемой по гармоническому закону, модулированные колебания имеют вид:

$$S = A_0 \cdot \sin[\omega_0 (1 + b_0 \cdot \cos(\Omega \cdot t)) t + \varphi_0], \quad \text{где } b_0 < 1 \text{ и } \Omega \ll \omega_0.$$

Соответственно при фазовой модуляции изменяется начальная фаза колебаний:

$$S = A_0 \cdot \sin[\omega_0 t + \Delta \cdot \cos(\Omega \cdot t)], \quad \text{где } \Omega \ll \omega_0.$$

Литература

1. Прохоров А., Летехов В. Лазерный луч в мире атомов и молекул. - Журнал "Наука и жизнь", № 11, 1980. - С. 24-32.
2. Справочная серия "Радиоэлектроника" / Под общей редакцией А. А. Куликовского. "Справочник по элементам радиоэлектронных устройств" под редакцией В.Н. Дулина, М.С. Жука. - М.: Энергия, 1978.
3. Яворский Б.М. и Детлаф А.А. Справочник по физике. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

УДК 621.73; 621.7.073; 001.4

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНІЧНОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ В ГАЛУЗІ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Євстратов В.О.

(м. Харків, Україна)

The article is dedicated to terminological problems in mechanical working and national standards creation.

Основу могутності будь-якої промислово розвиненої держави визначають переважно три промислових комплекси: паливно-енергетичний; гірничо-металургійний; машинобудівний. Але сама по собі наявність згаданих промислових комплексів є лише передумовою успішного економічного розвитку держави. Потрібна ще й чітко скоординована політика їх розвитку, визначена певною концепцією. Концепції розвитку паливно-енергетичного і гірничо-металургійного комплексів України вже детально розроблені і затверджені відповідними постановами Верховної Ради України. Але вельми прикро, що ковальсько-штампувальному виробництву (КШВ) і ковальсько-пресовому машинобудуванню (КПМ) України, перспективам їх розвитку навіть у перспективі до 2010 року серйозної уваги й досі не приділялося.

Ковальсько-штампувальне виробництво України – це одна з важливіших складових частин машинобудівного комплексу, яка забезпечує задоволення потреб практично всього машинобудування та інших галузей техніки у ефективних технологіях обробки металів тиском (ОМТ) та ковальсько-пресовому обладнанні (КПО). Щоб галузь ОМТ ефективно розвивалась й була конкурентноздатною, треба створити національні стандарти, які б відповідали світовим стандартам, та запровадити їх у виробництво.

Перший крок до цього – створення науково обґрунтованої термінології.

Треба зазначити, що в Україні, колишній республіці СРСР, національні стандарти в галузі ОМТ не розроблялися, і технічна література українською мовою практично не видавалася. Після створення незалежної України й закріплення Конституцією української мови як державної виникла надзвичайно гостра необхідність у розробці та введенні в дію Державних Стандартів України (ДСТУ) на термінологію в галузі ОМТ. Зараз відомо лише три термінологічних ДСТУ з ОМТ [1 – 3]. Але вони не створюють системи, охоплюють лише невелику частину термінів з ОМТ і, що найважливіше, не відповідають сучасному світовому рівню. Вони не є новоствореними, а перекладені з колишніх ГОСТів СРСР із повторенням недоліків та помилок, які в тих стандартах містились. Деякі шляхи усунення цих недоліків запропоновані в статтях автора [4, 5].

В СРСР термінологічні комісії почали діяти з 1933 р., коли при АН СРСР було створено Комітет науково-технічної термінології (КНТТ). У довоєнні роки розробленню науково-технічної термінології та її стандартизації приділялось дуже мало уваги. Лише у квітні 1965 р. у Москві було проведено першу нараду КНТТ спільно

з розробниками термінології, на якій розглянуто проблеми упорядкування та узгодження термінології в різних галузях науки і народного господарства [6].

У 1966 р. шойно створений “Всесоюзный научно-исследовательский институт технической информации и кодирования” (ВНИИКИ) запланував випуск Держстандарту “Государственная система стандартизации терминологии и буквенных обозначений величин в СССР”. Але це було підпорядковано бюрократичній системі. Замість того, щоб довести до завершення створення системи Держстандартів СРСР з обробки металів тиском, яка була запропонована і розроблена фахівцями під керівництвом академіка О.І.Целікова та проф. С.М.Хржановського, ВНИИКИ почав залучати до створення окремих стандартів (що абсолютно не були пов’язані між собою і охоплювали тільки незначну частину термінологічного простору з ОМТ) організації, які не мали ані досвіду дослідницьких робіт в ОМТ, ані досвіду викладання у вузах. Так у 1969 році з’явився проект стандарту “Инструмент для обработки металлов давлением. Штампы. Термины и определения” (розробчик – Всесоюзный проектно-конструкторский институт сварочного производства, Киев). У 1971 році з’явилось зразу два проекти: “Обработка металлов давлением. Операцииковки и штамповки. Термины и определения” (розробчик – Всесоюзный проектно-конструкторский институт сварочного производства, Киев) та “ЕСТПП. Кузнечные машины. Термины и определения” (розробчик – Всесоюзный научно-исследовательский институт нормализации в машиностроении, Москва). На всі три проекти кафедра ОМТ ХПІ дала негативні відзиви. Особливо різким був відзив на проект останнього стандарту, де ми записали: “Проект ЕСТПП нуждается в коренной переработке... Вторую редакцию рекомендуется перед рассылкой обсудить на Ученых советах ведущих вузов страны”. Але на наші зауваження ніхто з чиновників не зважив. Після незначних доробок ці проекти було випущено у вигляді ГОСТів, хоч вони й містили багато суттєвих недоліків.

Ось таку спадщину ми отримали. Зараз як Державні Стандарти України введені переклади цих ГОСТів із суттєвими недоліками і помилками. На деякі з них варто звернути увагу на прикладі ДСТУ 2263-93 [2], бо вони характерні і для інших стандартів із термінології.

Терміни, що містяться у ДСТУ, не є логічно системними, бо ще й досі не визначено загальноприйнятну науково обґрунтовану класифікацію процесів в галузі ОМТ, яка могла б слугувати основою для визначення будь-якого поняття.

Визначення термінів досить часто неповні. “Калібрування. Підвищення точності розмірів штампованої заготовки чи штампованої поковки та (або) зменшення шорсткості її поверхні” ([2], с.15, термін 43). Тут цілком незрозуміло, яким саме способом або за рахунок чого точність підвищується, а шорсткість зменшується, на яких саме поверхнях це відбувається.

Нерідко визначення неточні, переобтяжені зайвою інформацією, часто помилкові. “Редукування. Зменшення площі поперечного перетину заготовки при проштовхуванні її через калібруючу матрицю зусиллям, що направлене вздовж осі заготовки” ([2], с.16, термін 46). До цього визначення можна поставити принаймні три жорстких запитання. 1) Чи відомо авторам ДСТУ, що редукування труб, яке дуже поширене в ОМТ, характеризується або сталістю площі поперечного перетину заготовки або навіть її збільшенням (якщо тертя на контактних поверхнях досить значне)? 2) Чому для редукування використовують калібруючу матрицю, а не редукуючу? Якщо ж матриця калібруюча, то чому б тоді не назвати операцію калібруванням, адже вона повністю відповідає цьому визначенню, що подане в ДСТУ на с.15, термін 43? 3) Як можна проштовхувати заготовку через матрицю зусиллям, яке направлене не вздовж осі заготовки, а навскіс або вбік? Відповідей нема.

Дуже часто терміни мають хибну орієнтацію, тобто спрямовують нашу думку зовсім не так, як це треба у відповідності із змістом терміну. Наприклад: “Вальцювання. Штампування (?) виробів при відносному обертанні частин штампа та (або) вихідної заготовки в процесі деформування” ([2], с.4, термін 6). Штампування і вальцювання це суттєво різні технологічні операції, тому давати визначення другого поняття через перше – це давати зовсім невірну орієнтацію думки читача. Де автори бачили штампи, що обертаються?

Для визначення будь-якого поняття треба послугуватися дуже простою схемою.



Рис. 1. Універсальна схема визначення будь-якого поняття:

ЛО-У – логічна операція узагальнення;

ЛО-К – логічна операція конкретизація

Користуючись цією схемою, дамо визначення, наприклад, поняття редукування:

“Редукування це така технологічна операція обробки металів тиском [родове поняття], яка призначена для зменшення одного чи кількох поперечних розмірів вихідної заготовки переважно на частині довжини

Ця схема дозволяє уникнути так званого “логічного зачарованого кола”. На жаль, за схемою “кола” часто побудовані визначення в тлумачних словниках та в ДСТУ 2360-94 [3].

Ця схема також дозволяє дати вичерпне визначення, яке показує, до якого саме родового поняття відноситься дане, з якими поняттями воно є спільним, які має загальні властивості, яка його функція та структура, чим саме вона відрізняється від родового поняття.

суцільної або порожнистої (трубчастої) заготовки [функція, тобто призначення цієї операції], яка виконується **поздовжнім проштовхуванням** заготовки через отвір в матриці, форма та розміри якого відповідають формі та розмірам поперечного перетину деталі [структура, тобто перелік складових даної операції та їх особливостей, характерних саме для операції, що визначається]”.

Це визначення показує, що формозміна відбувається шляхом пластичної деформації (для цього у визначенні дається узагальнення, тобто редукування трактується як одна з операцій **обробки металів тиском**). Це визначення віддзеркалює всі особливості процесу редукування, які відрізняють його від інших операцій ОМТ: констатує, що за допомогою цієї операції зменшують поперечні **розміри** (а не **площу** поперечного перетину!), що редукувати можна як **суцільну** заготовку, так і **порожнисту**, як круглого перетину, так і овального, прямокутного або багатокутного, як в одному напрямку (наприклад, з круга отримувати овал, з квадрата – прямокутник тощо), так і в кількох (з круга отримувати шестикутник), зменшення розмірів здійснюється переважно **на частині довжини** заготовки (хоча не виключається і так зване наскрізне редукування). У цьому визначенні показано, як саме виконується операція (**поздовжнім проштовхуванням** заготовки через матрицю (в такому разі питання про напрям сили не постає!). Для даної операції використовується редукуюча матриця, у якій форма та розміри отвору в точності відповідають формі та розмірам поперечного перетину деталі, що обумовлені її кресленням.

Під це визначення вже не можна підвести жодної іншої операції ОМТ, наприклад, обтискування ([2], с.14, термін 39), радіального обтискування ([2], с.20, термін 55), в той час, як визначення поняття **редукування** у ДСТУ [2] повністю відповідає як обтискуванню, так і радіальному обтискуванню.

Проте навіть і наведене вище визначення, хоч і достатньо повне, але ще недосконале, бо не спирається на класифікацію. Саме те, що розробці термінології не передувало створення науково обґрунтованої класифікації технологічних процесів ОМТ, і є суттю всіх недоліків ДСТУ.

Кафедра ОМТ НТУ “ХП” вже багато років займається проблемами класифікації і термінології. І за цей час пересвідчилась в тому, що для створення високоякісних ДСТУ, які б стояли вище за світові, необхідно виконати такі умови.

1. Усвідомити, що якісно зробити таку велику роботу, як створення **системи стандартів**, без витрати коштів (як це дуже хотілось би чиновникам) абсолютно неможливо. Тому Уряд через Міносвіти повинен виділити **значні кошти** на проведення цієї роботи. Ці кошти цільовим призначенням виділити під певного **провідного вченого NN**, який має досвід термінотворчої роботи.

2. Для створення системи стандартів у певній галузі (наприклад, в обробці металів тиском) **вчений NN має сам сформувати робочу групу**, залучивши до неї викладачів провідної спеціальної кафедри одного з провідних навчальних закладів IV рівня, а також групу лінгвістів, які мають досвід роботи в галузі технічної термінології.

3. Передумовою розробки системи стандартів має бути наукова класифікація. Це має бути першим етапом діяльності робочої групи. Запропоновану класифікацію треба детально обговорити і схвалити на засіданні погоджувальної комісії.

4. Лише за наявності детальної і системної класифікації процесів, оснащення, обладнання, засобів автоматизації та інформаційних систем можна переходити до створення термінологічних стандартів як **цілісної системи**.

5. Одночасно з розробкою термінологічних стандартів треба закласти основи визначення основних понять якості продукції, яка підлягає сертифікації.

Без термінології неможливо створити сучасні стандарти на обладнання та продукцію ковальсько-штампувального виробництва. Створення наукової термінології і національних стандартів, які не поступаються світовим, відкріє шлях до сертифікації та зовнішніх ринків. Без вирішення цих проблем неможливо розраховувати на конкурентноздатність нашої продукції і намагатись виходити на міжнародні ринки. А без ринків ми втрачаємо надію на незалежність і підйом економіки.

Отже, створення стандартів – це задача національної безпеки.

Тому вважаю, що на важливість проблеми створення системи ДСТУ в галузі обробки металів тиском треба наголосити у рішеннях 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції як надзвичайно важливу проблему відродження Української економіки.

Література

1. ДСТУ 2261-93. Штампи для оброблення металу тиском: Терміни та визначення. – Київ: Держстандарт України, 1994.
2. ДСТУ 2263-93. Операції кування та штампування металу: Терміни та визначення. – Київ: Держстандарт України, 1994.
3. ДСТУ 2360-94. Устаткування ковальсько-пресове: Терміни та визначення. – Київ: Держстандарт України, 1995.
4. Євстратов В.О., Рудь В.І., Плєснецов Ю.О. Термінові вимоги стандартизації в галузі ковальсько-штампувального виробництва // Вестник Харьковського державного політехнічного університета. Юбилейный вып. №76: Обработка металлов давлением. – Харьков, 2000. – С.20 – 22.
5. Євстратов В.О. Проблеми розробки національної технічної термінології в галузі обробки металів тиском.

УДК 631.362

ДВИЖЕНИЕ УПРУГИХ ШЕРОХОВАТЫХ ЧАСТИЦ ПО ВИБРАЦИОННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ДЕКЕ

Завгородний А. И., докт. техн. наук, проф., Обыхвист А. В.
(г. Харьков, Украина)

Use of small-sized working bodies for division of loose mixes assumes increase of productivity in some times. In work the laws of movement of particles on a small-sized working body are investigated, where the division of mixes occurs to attributes of elasticity and roughness. The mathematical model of movement of particles for a general case is received, when the factors of friction and restoration of speed at impact accept any meanings.

В настоящее время основными при разделении зерновых смесей являются зерноочистительные машины с воздушно-решетно-триерными рабочими органами. Но далеко не все зерновые смеси удается разделить на решетках с требуемым качеством и отсутствием значительных потерь. Повторные пропуски зерна не решают проблему, так как повышают травмируемость семян и резко снижают производительность. Выход из этой ситуации предложен учеными ХГТУСХ, где разработаны вибрационные безрешетные сепараторы для обработки трудноразделимых зерновых смесей [1]. Движение зерновой смеси по вибродекам этих устройств зависит от целого комплекса физико-механических свойств: шероховатости, упругости, формы, крупности, чем и объясняется высокое качество разделения. Однако качественное разделение наблюдается до тех пор, пока движение смеси осуществляется монослоем и каждая частица, контактируя с декой, проявляет свои свойства. В связи с этим увеличить подачу зернового материала на деки и поднять производительность вибросепараторов до уровня воздушно-решетно-триерных машин не представляется возможным. Поэтому вибросепараторы рекомендуется, как правило, включать в технологические линии на этапе доочистки семян после выделения основной части примесей на воздушно-решетно-триерных машинах. Таким образом, поиск новых рабочих органов вибросепараторов с повышенной производительностью и исследование технологического процесса разделения смесей этими рабочими органами имеет большое значение для народного хозяйства.

Один из методов повышения производительности вибросепараторов основан на использовании "микротраекторий" движения семян по вибрирующей деке [4]. Суть его состоит в следующем. Перемещаясь "в среднем" по одной и той же траектории, частицы с разными физико-механическими свойствами имеют различные по величине случайные отклонения от нее, что проявляется на весьма малых участках движения и дает возможность разделять смесь на деках малых размеров. Следовательно, в одном и том же объеме можно размещать в десятки раз больше малогабаритных рабочих органов, что и дает существенный выигрыш в производительности. Если сочетание свойств частиц такое, что не позволяет получить достаточных различий в "микротраекториях", то достичь этого различия можно искусственно, выполняя профиль деки различной формы (ломаная, часть окружности, таутохрона и др.) и сообщая им приемлемые колебания [5, 6]. Примером может

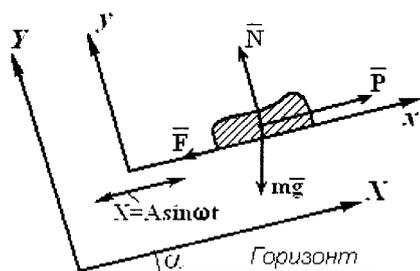


Рис. 1. Расчетная схема движения частицы

служить дека в форме, напоминающей уголок [5], одна полка которого играет роль рабочей поверхности, а другая – отражательной пластины при ударе. При этом колебания деки сообщаются в плоскости рабочей поверхности. Схема движения частицы в поперечном сечении такой деки представлена на рис.1, где обозначено: XY – абсолютная система координат; xy – относительная система, неподвижно связанная с декой, совершающей гармонические ($X = A \sin \omega t$) колебания; $m\bar{g}$, \bar{F} , \bar{P} , \bar{N} – соответственно сила тяжести, трения, инерции ($P = mA\omega^2 \sin \omega t$) и нормальной реакции. При колебании деки частица совершает регулярное движение вверх-вниз вдоль оси абсцисс, периодически ударяясь об отражательную пластину (ось ординат). Рассмотрим сначала движение частицы вверх ($\dot{x} > 0$).

Дифференциальные уравнения движения в этом случае имеют вид [2]:

$$m\ddot{x} = P - mg \sin \alpha - F, \quad m\ddot{y} = N - mg \cos \alpha. \quad (1)$$

Так как движение безотрывное, то $\ddot{y} = 0$ и нормальная реакция равна $N = mg \cos \alpha$. Сила трения выражается через коэффициент трения и нормальную реакцию: $F = fN = fmg \cos \alpha$. Тогда из (1) получим:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t - g(\sin \alpha + f \cos \alpha). \quad (2)$$

Здесь и далее обозначим: $f_+ = \sin \alpha + f \cos \alpha$; $f_- = \sin \alpha - f \cos \alpha$. С учетом этого найдем решение уравнения (2):

$$\dot{x} = -A\omega \cos \omega t = gf_+t + C_1, \quad x = -A \sin \omega t - g \frac{f_+}{2} t^2 + C_1 t + C_2. \quad (3)$$

Совместим начало отсчета времени с моментом соударения частицы с отражательной пластиной. Тогда начальными условиями для определения постоянных интегрирования будут: $x = 0$, $\dot{x} = V$ при $t = t_0$. С учетом

значений постоянных C_1, C_2 уравнения движения частицы запишутся так:

$$\dot{x} = V + A\omega(\cos \omega t_0 - \cos \omega t) + f_+ g(t_0 - t), \quad (4)$$

$$x = A(\sin \omega t_0 - \sin \omega t) + A\omega(t - t_0)\cos \omega t_0 + V(t - t_0) - \frac{f_+ g}{2}(t - t_0)^2. \quad (5)$$

Очевидно, что при движении вниз ($\dot{x} < 0$) сила трения изменяет направление и мы должны от f_+ перейти к f_- . Кроме того, изменятся и начальные условия движения: $x = x_{\max}$, $\dot{x} = 0$ при $t = t_1$. Здесь учтено, что максимальное удаление x_{\max} частицы от оси y наблюдается в момент t_1 изменения направления движения, когда скорость движения равна нулю. Таким образом, движение частицы вниз описывается уравнениями:

$$\dot{x} = A\omega(\cos \omega t_1 - \cos \omega t) + gf_-(t - t_1), \quad (6)$$

$$x = A(\sin \omega t_1 - \sin \omega t) + A\omega(t - t_1)\cos \omega t_1 + \frac{gf_-}{2}(t - t_1)^2 + x_{\max}. \quad (7)$$

Далее для поиска периодического движения частицы следует применить условия периодичности [3]. Они заключаются в том, что параметры движение частицы по истечению периода колебаний остаются прежними. Так, например, начальные условия при движении частицы вниз являются конечными параметрами частицы при движении вверх, а начальные условия при движении частицы вверх являются конечными параметрами частицы после ее удара об отражатель. После использования указанных условий получена следующая система уравнений:

$$x_{\max} = A(\sin \omega t_0 - \sin \omega t_1) + A\omega(t_1 - t_0)\cos \omega t_0 + V(t_1 - t_0) - \frac{f_+ g}{2}(t_1 - t_0)^2, \quad (8)$$

$$V = f_+ g(t_1 - t_0) - A\omega(\cos \omega t_0 - \cos \omega t_1), \quad (9)$$

$$x_{\max} = A(\sin \omega t_0 - \sin \omega t_1) - A\omega\left(\frac{2\pi}{\omega} + t_0 - t_1\right)\cos \omega t_1 - \frac{gf_-}{2}\left(\frac{2\pi}{\omega} + t_0 - t_1\right)^2, \quad (10)$$

$$U = A\omega(\cos \omega t_1 - \cos \omega t_0) + gf_-\left(\frac{2\pi}{\omega} + t_0 - t_1\right). \quad (11)$$

Эту систему следует дополнить уравнением удара $V = -RU$, после чего из нее можно определять неизвестные величины: моменты удара t_0 и остановки t_1 частицы (при изменении направления движения), скорость частицы до U и после V удара, а также размах x_{\max} колебаний частицы по рабочей поверхности.

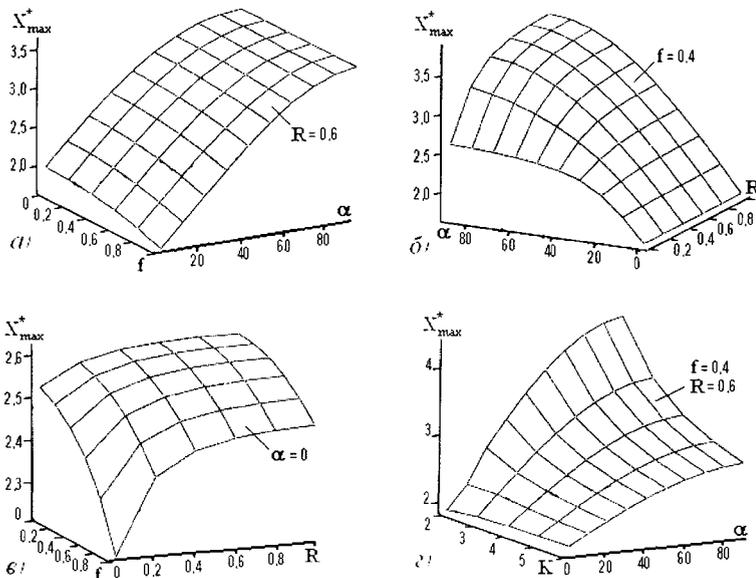


Рис. 2. Зависимость безразмерного размаха колебаний частицы от параметров процесса разделения

скорости при ударе. Исключение составляют случаи наклонов деки под углом 0° и 90° . При $\alpha = 0^\circ$ размах не зависит от коэффициента восстановления (β), а при $\alpha = 90^\circ$ – от коэффициента трения (a). Это объясняется тем, что при $\alpha = 0^\circ$ частицы колеблются на поверхности деки не ударяясь, а только соприкасаясь с отражательной пластиной (при этом $V = U = 0$), а при $\alpha = 90^\circ$ происходит вертикальное подбрасывание частиц отражательной пластиной без взаимодействия с поверхностью деки ($N = 0$). При увеличении интенсивности колебаний (ε) размах x_{\max} приближается к размаху колебаний самой деки – $2A$, какими бы ни были другие параметры

Основным технологическим параметром, по которому происходит разделение смеси, является размах x_{\max} колебаний частицы по вибротреке. На рис.2. на основании расчета по системе (8)-(11) построены графики зависимостей безразмерного размаха $x_{\max}^* = x_{\max}/A$ от параметров процесса: угла наклона деки и коэффициента трения (a); угла наклона деки и коэффициента восстановления скорости при ударе (β); Коэффициентов трения и скорости при ударе (β); угла наклона деки и интенсивности ее колебаний $K = A\omega^2/g$ (ε). Для зависимостей (a)-(β) коэффициент интенсивности принят равным $K = 4$.

Как видим, размах колебаний частиц увеличивается с уменьшением коэффициента трения и увеличением коэффициента восстановления

процесса (α , f , R). То есть, при большой интенсивности колебаний, как показывают расчеты, движется только дека, а частицы смеси в абсолютном движении неподвижны, что качественно совпадает с результатом, полученным в работе [3]. Полученный результат говорит о том, что эффективное использование малогабаритных дек возможно лишь при малых значениях интенсивности колебаний, при которых существует технологический режим движения частиц. Применение больших значений интенсивности колебаний нецелесообразно.

Литература

1. Заика П.М., Мазнев Г.Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств.— М.: Колос, 1978.— 240с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин.— изд-во УАСХН, 1960.—284с.
3. Кобринский А.Е., Кобринский А.А. Виброударные системы.— М.: Наука, 1973.— 592с.
4. А.с. 1057126 (СССР). Способ разделения зерновой смеси / П.М.Заика, А.И.Завгородний, А.В.Богомолов. — Оpubл. в Б.И., 1983, №44.
5. А.с. 1319930 (СССР). Устройство для разделения зерновых смесей по упругим свойствам / П.М.Заика, А.И.Завгородний, А.В.Богомолов и др. — Оpubл. в Б.И., 1987, №24.
6. А.с. 1516150 (СССР). Способ разделения сыпучих материалов и устройство для его осуществления / П.М.Заика, А.Г.Хливняк, А.И.Завгородний и др. — Оpubл. в Б.И., 1989, №39.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие участникам конференции	3
Научные школы – участники конференций	7
1. Научные концепции развития технологии машиностроения, механической и физико-технической обработки	
Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Модель единого представления кинематики резания.	27
Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Кинематика формообразования торцевой поверхности вращающегося кольца при шлифовании.	29
Новиков Г.В., Малыхин В.В. Теоретический подход к управлению процессом алмазно-электроэрозионного шлифования.	34
Ларшин В.П., Лищенко Н.В., Якимов А.В. Исследование плотности теплового потока в зоне контакта при профильном шлифовании.	38
Якимов А.А., Якимова О.А. Влияние ограниченности источника на температурное поле.	43
Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Формирование точности поверхности при алмазно-абразивной обработке.	46
Линчевский П.А., Чмых А.П. Методы устранения вибраций при подрезке торцов осевой подачей на отделочно-расточных станках.	49
Гурей I.B. Технологія імпульсного фрикційного зміцнення чавунних напрямних.	51
Свирищев В.И., Флегентов В.К., Подборнов И.В. Стабилизация функциональных характеристик процесса бесцентрового наружного шлифования путем применения сборного абразивного круга переменной характеристики.	54
Худобин Л.В., Веткасов Н.И., Щепочкин В.А. Теплонапряженность заточки режущих инструментов композиционными шлифовальными кругами.	56
Худобин Л.В., Веткасов Н.И., Щепочкин В.А. Повышение технологической эффективности заточки режущих инструментов путем применения чашечных композиционных шлифовальных кругов.	58
Худобин Л.В., Унянин А.Н. Исследование процесса взаимодействия налива материала заготовки и абразивного зерна.	61
Крупеников О.Г., Дормушев А.Е. Математическое моделирование тепловой напряженности процесса разрезания заготовок из неметаллических материалов алмазными отрезными кругами с внутренней режущей кромкой.	63
Табаков В.П., Рандин А.В. Совершенствование быстрорежущего инструмента с ионно-плазменными покрытиями путем нанесения переходных адгезионных слоев.	66
Крюк А.Г., Браташевский А.Ю., Дудко П.Д. Проблемы вузовской подготовки кадров конкурентоспособных на бирже труда.	68
Жданов А.А. Сравнительный анализ существующих методов для отделки поверхностей деталей гидротопливных агрегатов.	69
Граница В.А., Карпусь В.Е. Производственный опыт применения комбинированного инструмента.	74
Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Укрупненная оценка экономической эффективности токарных операций.	76
Емельянов С.Г., Селезнев Ю.Н., Рухлин А.С., Широконос Ю.Г. Повышение эффективности обработки деталей буровых установок за счет совершенствования конструкции протяжного инструмента.	78
Емельянов С.Г., Селезнев Ю.Н., Павлов Е.В. Выбор конструкции эвольвентных шлицевых протяжек.	81
Селезнев Ю.Н., Рухлин А.С., Губанов В.С. Система автоматизированного выбора типоразмера протяжки для обработки шлицевых отверстий с прямобочным профилем с центрированием по внутреннему диаметру.	82
Новиков Г.В. Физическая сущность и эффективность вибрационного резания.	85
Ларшин В.П., Лищенко Н.В. Определение погрешности эксперимента в технологии машино- и приборостроения.	87
Гусарев В.С., Клушина А.В. Обоснование и выбор финишных операций механообработки по энергетическому критерию.	90
Марчук В.І. Кайдик О.Л. Забезпечення та стабілізація точності лімітуючого розміру в системі адаптивного шліфування кілець карданного роликопідшипника на бортико-шліфувальному автоматі ME 280CO.	91
Настасенко В.А. Новое поколение пружинно-пластинчатых червячных зуборезных инструментов.	94
Настасенко В.А., Настасенко Е.В. Поиск и моделирование систем персональных компьютеров бу-	

дущего.	97
Ямникова О.А. Общая концепция построения математической модели упругих колебаний заготовки при обработке резанием.	100
Погребной Н.А., Шевченко С.М., Ткаченко В.П., Дитиненко С.А. Металлографический анализ качества обработки твердых сплавов при алмазном шлифовании	103
Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г., Рузметов А.Р. Нормирование вспомогательного времени в системах имитационного моделирования производств с использованием ручного труда.	107
Гулюк А.А., Подобедов В.В., Молчанова Л.В. Повышение износостойкости режущего инструмента гидропрессованием заготовок.	108
Гасанов М.И., Швырев В.С. Технология нанесения на детали износостойкого покрытия на основе электролитического железа высокой поверхностной твердости.	110
Мацевитый В.М., Казак И.Б., Нижник В.Д. Высокоэффективные вакуумно-плазменные покрытия для инструментов и деталей машин и механизмов.	111
Новикова Л.В. Теоретическое определение минимально возможной температуры резания.	113
Дудин А.Т. Новые технологии изготовления и повышение срока службы зубчатых венцов шаровых мельниц.	116
Гришкевич А.В. Устройства для отделочной обработки в ремонтном производстве.	118
Коломиец В.В., Тимофеева Л.А., Клименко С.А., Волчок И.В., Фабричникова И.А., Семенов В.И. Изменение контактных нагрузок и контактных напряжений в процессе обработки наплавленных материалов.	119
Коломиец В.В., Скобло Т.С., Власовец В.М., Ридный Р.В. Исследование относительной опорной длины профиля и оценка характера приработки деталей восстановленных наплавкой и обработанных точением.	122
Солнцев Л.А., Мошенок В.И., Лалазарова Н.А. Дробеструйное упрочнение твердосплавного инструмента для обработки высокопрочного чугуна.	125
Корниль Т.Л., Хавин Г.Л. Изнашивание режущей кромки резцов при точении стеклопластиков.	127
Моргун Б.А., Клещёв Г.М., Захаров В.И., Янковский О.Г., Тищенко И.А. Математическая модель управления обработкой деталей в интегрированном производстве.	128
Сизый Ю.А., Погребной Н.А., Волков О.А. Упрочнение поверхности стали X12M при помощи термофрикционной обработки.	130
Макеев Ю.В., Макурин Н.С. Задача геометрического согласования параметров элементов РТК.	133
Леховицер В.А., Мовшович А.Я., Липский Е.Р.,	
Балушок К.Б., Долматов А.И. Автоматизированная система «ЛОПАТКА» для проектирования и изготовления технологической оснастки.	137
Жолткевич Н.Д., Мовшович А.Я., Буденный М.М., Горницкий А.Я. Обобщенная концепция автоматизации холодной листовой штамповки в единой системе комплексно-автоматизированного производства.	139
Серховец О.И. Резервы повышения производительности круглого врезного шлифования на станках с ЧПУ.	143
Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Нормирование цикла круглого врезного шлифования.	145
Сизый Ю.А., Кулик Г.Г. Показатели процесса фрикционной разрезки в зависимости от толщины фрикционного диска.	147
Емельянов С.Г., Яцун Е.И., Мержоева М.С. Использование инструмента с механическим креплением сменных многогранных пластин для повышения качества обрабатываемых поверхностей.	148
Набока Е.В., Приходько О.Ю. Особенности формирования рельефа алмазного круга при комбинированном шлифовании	150

2. Прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы

Цюрюпа В.Н., Любченко А.П., Сатановский Е.А. Разработка и внедрение функциональных микролегированных электрохимических покрытий, повышенной жаро- и износостойкости.	152
Лобанов В.К., Гулюк А.А., Чуйкова Е.В. О выборе режима термообработки биметаллических заготовок.	152
Лобанов В.К., Глушкина А.В., Гаркушенко В.А., Кислицын В.П., Лучко С.Т. Сравнительное исследование жаростойкости хромоникелевых сталей.	153
Колодяжный А.В., Чернобрышко М.В., Вакуленко К.В., Меша Ю.В. Математическое моделирование высокотемпературной пайки.	154
Пантелят М.Г., Шульженко Н.Г. Моделирование индукционных технологических процессов для определения рациональных режимов термической обработки.	156
Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Пантелят М.Г., Матюхин Ю.И., Гармаш Н.Г. Подбор параметров процесса фиксации инструмента термонапряженной посадкой.	158

Гладкий И.П., Мощенок В.И., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П. Пути улучшения качества чугунных отливок корпусных деталей.	161
Бондаренко С.И. Фазовые и структурные превращения при скоростном нагреве высокопрочного чугуна.	163
Дудин А.Т. Прогрессивные методы сварки.	165
Браташевський О.Ю., Горбачова Л.В., Полякова А.Г., Польшов В.А. Положення критичної точки A_{C1} після холодної прокатки сталі 25.	168
Долук І.П., Арендаренко В.М., Лозовський А.П. Кучер О.В. Нові завантажувально – дозуючі пристрої.	170
Лозовський А.П., Арендаренко В.М. Новий корозійностійкий матеріал для деталей машин харчового машинобудування.	171
Пивовар В.С., Плеснецов Ю.А. Определение максимальных допустимых деформаций в местах изгиба металла на профилях повышенной производственной готовности.	173
Пивовар В.С., Плеснецов Ю.А., Кириллов Г.И. О возможностях развития производства профилей повышенной производственной готовности.	175

3. Экономика и организация производства

Кривошапка Ю.Н. Экономические подходы к созданию конкурентоспособной машиностроительной продукции.	176
Попов О.Є. Форми погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва.	177
Гриньов А.В. Моделирование процессу управління інноваційним розвитком підприємства.	179
Власенко В.В. Використання функціонально-вартісного аналізу в інноваційній діяльності підприємства.	181
Шевченко І.В. Методичні засади реалізації інвестиційного проекту.	182
Иванова О.Ю. Взаимосвязь конкурентных стратегий предприятия и конкурентных преимуществ.	184
Пилипенко А.А. Економічна безпека акціонерного товариства в умовах протидії недружньому поглинанню.	187
Филипович Т.Г. Особенности формирования конкурентной стратегии акционерных обществ в условия формирования корпоративных отношений в Украине.	189
Писарчук О.В. Определение целей управления развитием предприятия.	192
Ткаченко А.В. Сущность и содержание маркетингового управления внешнеэкономической деятельностью предприятия.	193
Загрива Ю.О. Инфраструктура фондового рынка та формування системи корпоративного управління.	196
Миняйло О.А., Богданович О.А. Лизинг агропромышленного комплекса Украины. Необходимость развития и сдерживающие факторы.	198
Путятин Ю.А., Бородин В.А., Гриценко Г.Д. Методологический базис стратегического управления развитием предприятия.	200

4. Динамика и прочность машин, проблемы математики, механики и управления

Литвина Т.В., Матусевич В.А. Основные проблемы повышения конкурентоспособности украинского авиационного агрегатостроения.	203
Матусевич В.А. Применение алмазоподобных углеродных покрытий гидравлических и топливных агрегатах – перспективный путь увеличения их ресурсов.	205
Воробьев Ю.С., Тишковец Е.В., Потанин В.А., Касьянов В.А. Расчет вынужденных колебаний лопаточного аппарата турбины турбокомпрессора.	206
Воробьев Ю.С., Гошкодера В.П., Цыба А.Н., Тайч Л., Туринскы М. Использование моделей различных уровней при анализе колебаний лопаток последних ступеней паровых турбин.	208
Милешкин М.Б., Библик И.В. Исследование кинетики многоциклового усталости методом компьютерного моделирования.	210
Воробьев Ю.С., Чернобрышко М.В., Алекса С.В. Сравнительная характеристика результатов расчета корпуса теплообменного аппарата в зависимости от выбора математической модели.	213
Андреев Ю.М., Дружинин Е.И., Ромашов Ю.В. Моделирование сил, приложенных к свободному твердому телу, с помощью силовых элементов в программном комплексе КИДИМ.	214
Белоцерковский А.Б., Жовдак В.А., Смирнов М.М., Черных О.В., Яцько С.И. Разработка методики виброизмерений колесно-редукторных блоков вагонов метрополитена.	216
Сало В.А., Слесар Е.П. Исследование напряженно-деформированного состояния упругих оболочек на основе различных прикладных теорий.	218
Новиков С. Г., Малыхин В.В., Соколов В.С., Соколова О. В., Павлов Е. В. Использование гидродинамического эффекта для получения сверхвысоких давлений и больших скоростей струи	

жидкости.	220
Новиков С.Г., Малыхин В.В., Соколов В.С. Теоретический анализ работы гидроимпульсного устройства.	222
Асаенко А.В., Зайцев Б.Ф., Шульженко Н.Г. Влияние трещины в лопасти рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины на частоты собственных колебаний.	226
Сметанкина Н.В., Свет Е.В., Шупиков А.Н. Задача термоупругости многослойных пластин сложной формы в плане.	228
Сметанкина Н.В. Применение метода упругого погружения к расчету многослойных цилиндрических оболочек сложной формы в плане.	230
Мягкохлеб К.Б. Новые результаты анализа и синтеза электромагнитных вибровозбудителей.	232
Белых В.И., Федоров А. И. Методика оценки изменения угла контакта в подшипниках качения по вибрационным характеристикам.	234
Столбовой А.С. Расчет опорного гидродинамического подшипника скольжения с самоустанавливающимися сегментами.	236
Гайдамака А.В., Наумов А.И., Щокин В.М., Дзюбенко Е.А. Роликоподшипники повышенной грузоподъемности с полиамидными сепарирующими элементами.	239
Музыкин Ю.Д., Ващук Р.В., Щокин В.М. Исследование возможности использования торцевой поверхности подшипника в паре трения торцевого уплотнения.	240
Горбатиук Н.В. Оценка технического уровня аксиально-поршневых регулируемых гидронасосов.	242
Шатохин В.М. Синтез параметров нелинейной упругой муфты как гасителя колебаний в двухвальных транспортных дизелях.	247
Невлюдов И.Ш., Новоселов С.П. Алгоритм работы программы автоматизированного распознавания номинала банковских купюр.	252
Абрамов А. Д., Крупка А.В. Технология распознавания поверхностей пассивной системой авиационного базирования.	253
Петков А.А. Повышение уровня электробезопасности персонала совершенствованием системы контроля знаний.	255
Евсюков Д.Е. Модели представления знаний в автоматизированных обучающих системах.	257
Комкова О.А. Про одну неперервну недиференційовану функцію.	258
Новіков В.В., Комкова О.А. Розробка математичного апарату для розрахунку фізичних процесів у хаотичних системах.	260
Сметанкін В.О., Ільїн В.Я., Ільїн І.В. Стійкість нелінійних коливань робочого органу вібросепаратора в нерезонансному випадку.	263
Дудин А.Т. Резонанс молекулы и атома в лазерных лучах.	265
Євстратов В.О. Проблеми розробки національної технічної термінології в галузі обробки металів тиском.	270
Завгородний А.И., Обыхвист А.В. Движение упругих шероховатых частиц по вибрационной малабаритной деке.	273

© Харьковская научно-производственная корпорация «ФЭД», 2003

Научное издание

Труды 7-й Международной научно-технической конференции

Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве.

27-28 мая 2003 года, г. Харьков

Составили: Новиков Федор Васильевич
Якимов Александр Васильевич,

Ответственный за выпуск
Фадеев В.А.

Оформление оригинал-макета
Бондарь Н.Б., Савчук А.В.

Подписано к печати 12.05.2003г. Формат 60x88/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 35,0. Уч.-изл. л. 34,2.
Тираж 500. Заказ № 740

Отпечатано в типографии завода «ФЭД». 61023, г. Харьков, ул. Сумская, 132