

*20 - я Международная научно-
практическая конференция*

**ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*23 – 24 декабря
2014 г*

г. Харьков

Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця
ГП Харьковский машиностроительный завод "ФЭД"
Одесский национальный политехнический университет
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины
ООО Технический Центр "ВариУс"

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Институт проблем машиностроения НАН Украины
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко

Харьковский национальный технический университет радиоэлектроники
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта
Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь
Сумской государственный университет
Национальная Металлургическая Академия Украины
Луцкий национальный технический университет
Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Московский государственный открытый университет
Тульский государственный университет
Ульяновский государственный технический университет
Саратовский государственный технический университет
Пермский государственный технический университет
ГП "Завод им. Малышева"
АО "Мотор - Січ"
ЗАО Завод "Южкабель"
ПАО ХМЗ "Свет шахтера"
ХГ Авиационное производственное предприятие
Харьковское агрегатное конструкторское бюро
НТК "Эльбор-4"
Гомельское ПО "Кристалл"
Жешувский технологический университет, Польша
Высшая техническая школа, Цвикау, Германия
Международная академия по развитию технологий, Кельн, Германия
Компания "Foxenergy", Верона, Италия

Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий
к проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

**ТРУДЫ
20-й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Харьков 2014

УДК 62-65: 621.382.82

Физические и компьютерные технологии.

Труды 20-й Международной научно-практической конференции, 23–24 декабря 2014г. – Д : ЛИРА, 2015. – 278 с.

ISBN 978-966-383-582-2

Представлены труды, в которых рассмотрены проблемы технологии машиностроения и обработки материалов; прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы; проблемы динамики и прочности машин, математики, механики, экономики и организации производства.

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

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНФЕРЕНЦИИ:

Сопредседатели:

Новиков Ф.В., д.т.н.	(Харьков)	Жовтобрюх В.А., к.т.н.	(Днепропетровск)
Фадеев В.А., д.т.н.	(Харьков)	Клименко С.А., д.т.н.	(Киев)
Якимов А.В., д.т.н.	(Одесса)	Коломиец В.В., д.т.н.	(Харьков)

		Лавриненко В.И., д.т.н.	(Киев)
		Ларшин В.П., д.т.н.	(Одесса)

Члены совета:

Андилахай А.А., д.т.н.	(Мариуполь)	Малыхин В.В., к.т.н.	(Курск)
Гринева В.Н., д.э.н.	(Харьков)	Новиков Г.В., к.т.н.	(Харьков)
Гусарев В.С., к.т.н.	(Одесса)	Свищев В.И., д.т.н.	(Пермь)
Дитиненко С.А., к.т.н.	(Харьков)	Ямников А.С., д.т.н.	(Тула)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Воробьев Ю.С., д.т.н.	(Харьков)	Осипов В.А., к.т.н.	(Сумы)
Дашенко А.Ф., д.т.н.	(Одесса)	Петраков Ю.В., д.т.н.	(Киев)
Деревянченко А.Г., д.т.н.	(Одесса)	Плеснецов Ю.А., к.т.н.	(Харьков)
Евстратов В. А., д.т.н.	(Харьков)	Рябенков И.А., к.т.н.	(Харьков)
Кленов О.С., к.т.н.	(Харьков)	Савченко Н.Ф., к.т.н.	(Харьков)
Королев А.В., д.т.н.	(Саратов)	Самотугин С.С., д.т.н.	(Мариуполь)
Крюк А.Г., к.т.н.	(Харьков)	Скобло Т.С., д.т.н.	(Харьков)
Лебедев В.Г., д.т.н.	(Одесса)	Сизый Ю.А., д.т.н.	(Харьков)
Макаров В.Ф., д.т.н.	(Пермь)	Стрельчук Р.М., к.т.н.	(Харьков)
Марчук В.И., д.т.н.	(Луцк)	Тернюк Н.Э., д.т.н.	(Харьков)
Наддачин В.Б., к.т.н.	(Одесса)	Тришевский О.И., д.т.н.	(Харьков)
Новоселов Ю.К., д.т.н.	(Севастополь)	Усов А.В., д.т.н.	(Одесса)
Новиков С.Г., к.т.н.	(Курск)	Худобин Л.В., д.т.н.	(Ульяновск)
Оргиян А.А., д.т.н.	(Одесса)	Шепелев А.А., д.т.н.	(Киев)
Орлов П.А., д.э.н.	(Харьков)	Шкурупий В.Г., к.т.н.	(Харьков)

Труды воспроизводятся непосредственно с авторских оригиналов.

ISBN 978-966-383-582-2

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

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца)

Жовтобрюх В.А., канд. техн. наук, директор

(ООО Технический Центр "ВариУс", г. Днепропетровск)

The results of development and introduction of effective tech-nological processes machining hydraulic system

Повышение производительности и снижение себестоимости обработки, обеспечение высоких требований к точности и качеству изготовления деталей гидравлических систем предполагает применение износостойких, обладающих высокой режущей способностью инструментов и высокоточных современных станков с ЧПУ. Это, например, стало решающим фактором в решении проблемы экономичного изготовления деталей гидравлических систем, таких как плунжер, пята и сферическая втулка (рис. 1) [1, 2].

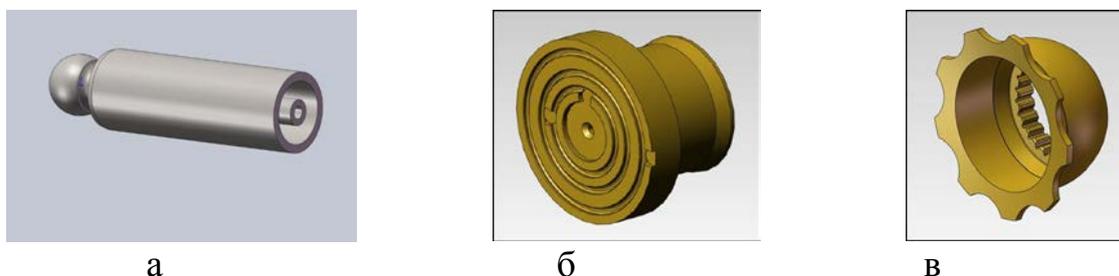


Рис. 1. Детали гидравлических систем: а - плунжер; б - пята; в - втулка сферическая

Плунжер изготавливается из стали 40ХФ2, а пята и втулка сферическая – из литейной латуни ЛМцСКА. Обработку указанных деталей (более 10 разновидностей и типоразмеров деталей) предложено осуществлять на высокопроизводительном двухшпиндельном токарном обрабатывающем центре PUMA 2100MS с приводным фрезерным инструментом (ось С) и контр-шпинделем (“DOOSAN” производства Южная Корея), оснащенный револьверной головкой для смены инструмента и системой управления (ЧПУ) Fanuc Oi-TD (рис. 2). Для каждого изделия был изготовлен отдельный комплект зажимной оснастки, а для операций кольцевого фрезерования и глубокого сверления – станок комплектовался мощной гидростанцией на 70 бар.

При разработке новой технологии механической обработки деталей гидравлических систем был сделан основной упор на фактор экономичности, связанный, с одной стороны, с повышением производительности и уменьшением себестоимости обработки, а с другой стороны, с универсализацией оборудования с ЧПУ путем применения нестандартных режущих инструментов и специальной оснастки.



Рис. 2. Высокоскоростной двухшпиндельный токарный обрабатывающий центр PUMA 2100MS с приводным фрезерным инструментом и контр-шпинделем (“DOOSAN”)

Так, ранее рассмотренные детали: плунжер, пята и втулка сферическая обрабатывались на различном оборудовании. Даже отдельные операции приходилось выполнять на разных станках. Например, токарную обработку плунжера производили на одном оборудовании, а глубокое сверление – на специальном станке для глубокого сверления. В данный момент эти операции объединены и выполняются на одном станке “DOOSAN”. Кроме того, используя станки агрегатного типа, сложно корректировать размер обрабатываемой детали в связи с износом режущего инструмента. Для введения коррекции на агрегатном станке необходимо затрачивать более 5 минут. Для ввода коррекции на станке “DOOSAN” с ЧПУ – всего 20 секунд. Например, при обработке на агрегатном станке при обнаружении брака на 3-х обработанных деталях из 7, очевидно, и 4 последующие обработанные детали уйдут в брак. При использовании станка “DOOSAN” имеется возможность контролировать каждую деталь и таким образом исключается брак при обработке. При этом появляется возможность увеличения производительности обработки на каждой операции за счет того, что станок “DOOSAN” обладает повышенной жесткостью.

Следовательно, применение такого оборудования как станок с ЧПУ “DOOSAN” позволяет решить проблему экономичности и производительности обработки главным образом за счет его универсализации, возможности обра-

ботки трех рассматриваемых типов деталей (плунжер, пята и втулка сферическая) на одном станке. При этом сокращаются затраты на энергоресурсы. Для обслуживания станка необходим один человек, тогда как для обработки данных деталей на агрегатных станках необходимо более 5 человек, что позволяет экономить фонд заработной платы рабочих. Кроме того, минимизируется количество бракованных деталей. Характеристики станка “DOOSAN” позволяют производить токарную обработку деталей различной конфигурации. В случае изменения конструкции детали возможна быстрая переналадка оборудования.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований применения сборных конструкций твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями взамен традиционно используемых для обработки рассмотренных выше трех типичных деталей гидравлических систем: плунжера, пяты и втулки сферической (рис. 1). Первоначально рассмотрены возможности повышения эффективности операций механической обработки плунжера.

1. По существующей технологии полуступенчатая обработка наружной цилиндрической поверхности плунжера производилась обычным контурным резцом из твердого сплава Т15К6 с режимом резания: $V=40$ м/мин, $S=0,15$ мм/об, $t=1,0$ мм. С целью повышения производительности и снижения трудоемкости и себестоимости обработки предложено использовать современный сборный токарный резец TDJNL 2525 M15 со сменной многогранной пластиной TT8125 DNMG 150608 FC с износостойким покрытием (рис. 3) производства фирмы TaeguTec (Южная Корея). Благодаря высоким стойкостным характеристикам многогранных сменных пластин с износостойким покрытием удалось интенсифицировать режим резания: $V=100$ м/мин, $S=0,1$ мм/об, $t=2,0$ мм. Это позволило в 3 раза увеличить производительность обработки и главное – уйти от многочисленных перезаточек инструмента и таким образом уменьшить трудоемкость и себестоимость обработки.



Рис. 3. Сборный токарный резец со сменной многогранной пластиной TT8125



Рис. 4. Сборный токарный резец с углом в планк 93° и со сменной многогранной пластиной TT8115

2. Еще больший эффект был достигнут на операции чистовой токарной обработки, а также при формировании сферы и радиуса плунжера. Согласно действующей технологии, данная операция осуществляется тем же твердосплавным резцом с режимом резания: $V=45$ м/мин, $S=0,1$ мм/об, $t=0,08$ мм. Взамен этого резца предложено использовать современный сборный токарный ре-

зец SVJNL 2525 M13 с углом в плане 93 градуса со сменной многогранной пластиной TT8115 (рис. 4) VNMG 130404 FG, которая по твердости выше пластины TT8125 (используемой для получистовой обработки). Режим резания: $V=250$ м/мин, $S=0,12$ мм/об, $t=0,3$ мм. В результате удалось повысить производительность обработки более чем в 10 раз.

3. Для сверления отверстий в плунжере по существующей технологии применялись центровочные сверла из быстрорежущей стали P18 с режимом резания: $V=40$ м/мин, $S=0,1$ мм/об. Применение сверла ЕСЕМ 2060 из сплава UF 20 (рис. 5) позволило увеличить скорость резания до $V=80$ м/мин при такой же подаче $S=0,1$ мм/об.



Рис. 5. Сверло ЕСЕМ 2060 из сплава UF 20

С целью повышения производительности и качества обработки отверстий были разработаны и внедрены кардинально новые конструкции сверл для глубокого сверления отверстия $\varnothing 3,15$ мм SPGD-03150-0410-30577-01 с длиной режущей части 125 мм. Сверление рекомендуется производить с режимом резания: $V=60$ м/мин, $S=0,08$ мм/об.

Далее приведены разработанные эффективные операции механической обработки детали “пяты” (рис. 1,б).

1. По действующей технологии получистовая обработка наружной цилиндрической поверхности детали “пяты” производилась фасонным резцом из быстрорежущей стали P18 с режимом резания: $V=100$ м/мин, $S=0,1$ мм/об, $t=2,0$ мм. Взамен этого инструмента был применен современный сборный токарный

резец TDJNL 2525 M15 со сменной многогранной пластиной DNMG 150608 ML из сплава K10, состоящего из WC+Co (рис. 6, табл. 1). Режим резания: $V=350$ м/мин, $S=0,25$ мм/об, $t=1,5$ мм. В результате производительность обработки увеличилась в 6 раз, почти в такое же количество раз уменьшилась себестоимость обработки.



Рис. 6. Сборный токарный резец со сменной многогранной пластиной из сплава K10

резец TDJNL 2525 M15 со сменной многогранной пластиной DNMG 150608 ML из сплава K10, состоящего из WC+Co (рис. 6, табл. 1). Режим резания: $V=350$ м/мин, $S=0,25$ мм/об, $t=1,5$ мм. В результате производительность обработки увеличилась в 6 раз, почти в такое же количество раз уменьшилась себестоимость обработки.

Таблица 1

Механические и физические свойства твердого сплава K10

Модуль упругости, Н/мм ²	Предел прочности на изгиб, Н/мм ²	Предел прочности на сжатие, Н/мм ²	Твердость (HRA)	Теплопроводность, кал/(см·с·К)	Коэффициент теплового расширения, 10 ⁻⁶ /град
620	>2400	6200	92,7	0,19	4,7

2. Обработка 3-х глухих отверстий $\varnothing 3,18 \pm 0,24$ мм ранее производилась специальным сверлом $\varnothing 3,18$ мм из быстрорежущей стали P18 отечественного производства с режимом резания $V=30$ м/мин, $S=0,05$ мм/об. В последствии на этой операции предложено применять специальное твердосплавное сверло BOF D3.18X0.7X60-6 из ультрамелкозернистого твердого сплава UF10 (рис. 7) с режимом резания $V=120$ м/мин, $S=0,07$ мм/об. Это позволило более чем в 5 раз повысить производительность обработки при одновременном уменьшении себестоимости обработки.

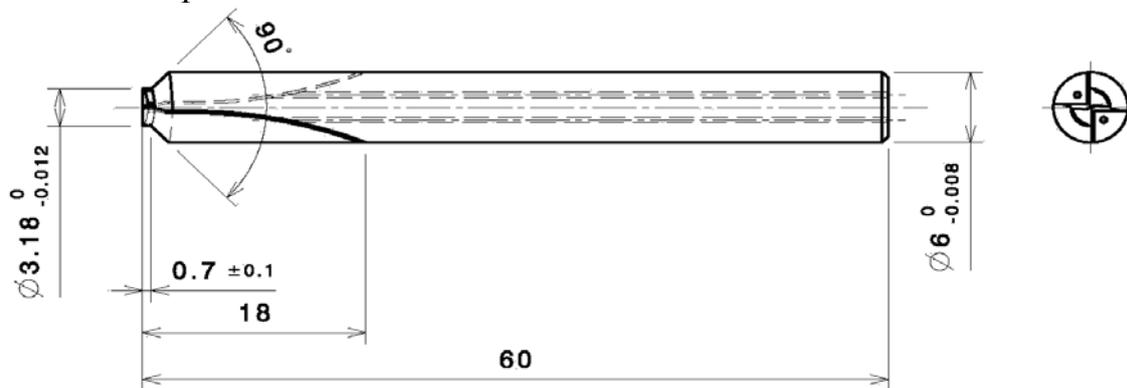


Рис. 7. Чертеж твердосплавного сверла BOF D3.18X0.7X 60-6 из сплава UF10

3. Обработка центрального отверстия $\varnothing 1,57^{+0,11}_{-0,04}$ мм ранее производилась специальной фрезой $\varnothing 1,57$ мм из быстрорежущей стали P18 отечественного производства с режимом резания $V=30$ м/мин, $S=0,05$ мм/об. Применение специальной твердосплавной фрезы SSD D1.6X20FX70-6 из сплава UF10 (рис. 8) с режимом резания: $V=100$ м/мин, $S=0,07$ мм/об, позволило в 5 раз увеличить производительность и снизить себестоимость обработки.

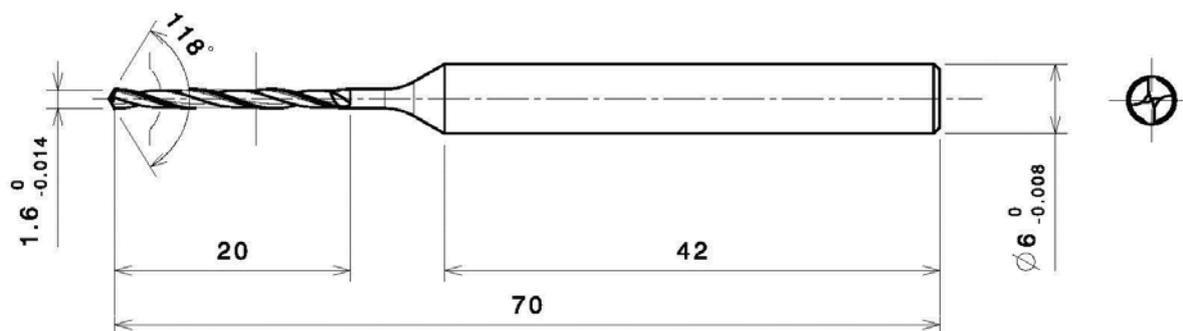


Рис. 8. Чертеж твердосплавной фрезы SSD D1.6X20FX 70-6 из сплава UF10

4. Точение торцовых канавок предложено выполнять с режимом резания: $V=150$ м/мин, $S=0,1$ мм/об канавочным резцом со сменной пластиной TTER 2525-2T8 и TDFT 1.25-0.38-D22 K10 соответственно. Ранее эта операция производилась напайным канавочным резцом из быстрорежущей стали P18 с режимом резания: $V=70$ м/мин, $S=0,07$ мм/об. В итоге достигнуто увеличение производительности обработки до 3-х раз.

5. Черновая операция растачивания отверстия $\varnothing 17,12 \pm 0,04$ выполняется резцом S16P SVJCR-11-UKR с использованием сменной пластиной VCGT 110304 FL из сплава K10 (рис. 9) с режимом резания: $V=110$ м/мин, $S=0,08$ мм/об, $t=0,5$ мм. Ранее данная операция выполнялась с использованием



Рис. 9. Сменная пластина из сплава K10

напайного расточного фасонного резца из быстрорежущей стали P18 с режимом резания: $V=50$ м/мин, $S=0,05$ мм/об, $t=0,5$ мм. Это позволило до 4-х раз повысить производительность обработки.

6. Для обработки сфер R1,52 и $\varnothing 3,94 \pm 0,11$ мм традиционно использовались специальные фрезы из быстрорежущей стали P18 с режимом резания: $V=50$ м/мин, $S=0,05$ мм/об. Благодаря использованию сборных фрез SBE 20304 и SBE 20394 из твердого сплава UF10, которые позволяют реализовать режим резания: $V=150$ м/мин, $S=0,08$ мм/об, удалось повысить скорость резания и производительность обработки в 3 раза.

7. Обработка стопорной канавки по новой технологии производится токарным резцом MVQNR 2525 M16 со сменной пластиной VNGG 160404 ML из сплава K10 с режимом резания: $V=420$ м/мин, $S=0,1$ мм/об, $t=0,5$ мм. Ранее использовался контурный резец из быстрорежущей стали P18 отечественного производства с режимом резания: $V=110$ м/мин, $S=0,08$ мм/об, $t=0,1$ мм. Это позволило многократно (более чем в 10 раз) повысить производительность обработки.

Произведена оценка эффективности применения разработанных операций механической обработки детали “втулка сферическая” (рис. 1,в).

1. По действующей технологии операция полуступовой обработки наружной цилиндрической поверхности детали “втулка сферическая”, а также торцевой поверхности производилась фасонным резцом из быстрорежущей стали P18 с режимом резания $V=100$ м/мин, $S=0,1$ мм/об, $t=2,0$ мм. Взамен этого инструмента был применен современный сборный токарный резец TDJNL 2525



Рис. 10. Сборный токарный резец со сменной многогранной пластиной из сплава K10

M15 со сменной многогранной пластиной DNMG 150608 ML из сплава K10 (рис. 10). Это позволило реализовать следующий режим резания: $V=350$ м/мин, $S=0,25$ мм/об, $t=1,5$ мм.

2. Растачивание, а также обработка торца втулки ранее выполнялись контурным резцом из быстрорежущей стали P18 с режимом резания: $V=110$

м/мин, $S=0,08$ мм/об, $t=0,1$ мм. Предложено обработку производить токарным резцом S25T SDUCR 11 с углом в плане 93 градуса, оснащенный пластиной DCGT 11T304 FL из сплава K10 (рис. 11) с режимом резания: $V=250$ м/мин, $S=0,2$ мм/об, $t=1,0$ мм. В результате достигнуто увеличение производительности обработки более чем в 10 раз.



Рис. 11. Токарный резец с углом в плане 93° , оснащенный пластиной из сплава K10

режим резания: $V=100$ м/мин, $S=0,15$ мм/об и более чем в 6 раз повысить производительность обработки.

3. Фрезерование круглых лысок (“звездочки”) по действующей технологии производилось фрезой $\varnothing 10$ мм из быстрорежущей стали отечественного производства с режимом резания: $V=30$ м/мин, $S=0,08$ мм/об. Данная фреза была заменена на фрезу REMA 3100C из твердого сплава UF10 (рис. 12). Это позволило интенсифицировать ре-



Рис. 12. Фреза REMA из твердого сплава UF10

Список литературы: 1. Новиков Ф.В. Разработка эффективных технологий механической обработки деталей машин / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – Х.: ХНАДУ, 2011. – Вып. 29. – С. 212-215. 2. Жовтобрюх В.А. Повышение эффективности механической обработки деталей гидравлических систем путем выбора рациональных параметров операций по критерию себестоимости: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / В.А. Жовтобрюх. – Мариуполь: ПГТУ, 2012. – 21 с.

УДК 621.923

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Андилахай А.А., докт. техн. наук

(ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца)

The paper disclosed patterns forming surfaces of small parts when sanding submerged jet

Перспективным направлением дальнейшего развития струйно-абразивной обработки [1] является обработка затопленными струями, когда абразивные зерна присоединяются к струям сжатого воздуха за пределами сопел, что защищает сопла от износа и таким образом решает проблему стабильности обработки. Вместе с тем, данный метод обработки недостаточно изучен, отсут-

ствуют научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных условий обработки. Поэтому целью работы является обоснование условий уменьшения шероховатости поверхности при абразивной обработке затопленными струями на основе экспериментальных исследований закономерностей образования микросрезов на поверхностях деталей.

Состояние поверхностного слоя детали после механических и физико-механических методов обработки характеризуется в основном параметрами шероховатости, остаточными напряжениями и наклепом (глубиной и степенью упрочнения). Поверхностный слой детали после абразивной обработки затопленными струями характеризуется такими же параметрами [2].

Шероховатость поверхности после абразивной обработки затопленными струями главным образом зависит от исходной шероховатости; скорости, и размера абразивных зерен; времени обработки. При этом имеют место две стадии формирования микрорельефа поверхности. На первой стадии происходит удаление наиболее выступающих неровностей, а на второй стадии – формирование однородного по всем направлениям микрорельефа поверхности. Микрорельеф поверхности представляет собой совокупность следов (лунок), оставляемых на поверхности абразивными зернами, причем расположение лунок носит случайный характер [3]. Формирование микрорельефа поверхности происходит в течение вполне определенного времени (10...25 мин обработки), а затем процесс стабилизируется, и микрорельеф поверхности не изменяется. Соответственно не изменяются и параметры шероховатости поверхности. Подтверждением тому являются результаты экспериментальных исследований, приведенные на рис. 1.

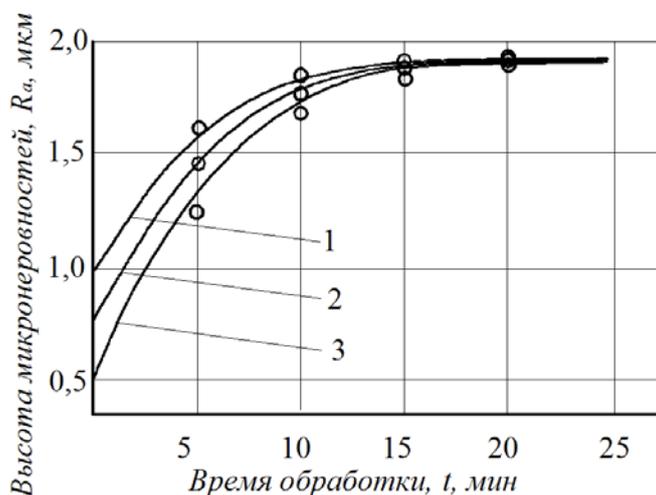


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхностей образцов от времени обработки при исходной шероховатости: 1 – $R_{a.исх} = 1,0$ мкм; 2 – $R_{a.исх} = 0,75$ мкм; 3 – $R_{a.исх} = 0,5$ мкм; абразив 63С (карбид кремния зеленый) зернистость 63

Как видно, с течением времени обработки τ высота микронеровностей (параметр шероховатости поверхности R_a) первоначально увеличивается, а затем стабилизируется и остается неизменным. Причем, данная закономерность

справедлива для различных значений исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, изменяющихся в пределах 0,5...1,0 мкм. Как следует из рис. 1, чем меньше исходная шероховатость поверхности $R_{a.исх}$, тем меньше шероховатость поверхности R_a , образуемая в процессе обработки. При этом исходная шероховатость поверхности $R_{a.исх}$ фактически не влияет на время обработки, при котором наступает стабилизация шероховатости поверхности R_a . В данном случае наибольшее значение шероховатости поверхности $R_a = 1,8$ мкм образуется приблизительно за 15 мин обработки. Таким образом, экспериментально установлено, что одна и та же шероховатость поверхности может быть получена при различных значениях исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$.

С увеличением исходной шероховатости поверхности в пределах $R_{a.исх} = 1,0...1,5$ мкм также имеет место увеличение шероховатости поверхности R_a с течением времени обработки τ , а затем ее стабилизация во времени (рис. 2).

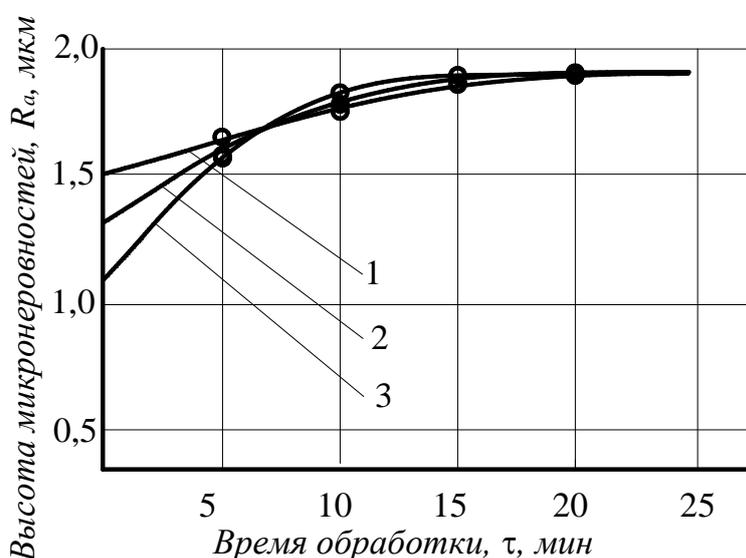


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхностей образцов от времени обработки при увеличении исходной шероховатости: 1 – $R_{a.исх} = 1,5$ мкм; 2 – $R_{a.исх} = 1,25$ мкм; 3 – $R_{a.исх} = 1,0$ мкм

Наибольшая шероховатость поверхности равна $R_a = 1,8$ мкм и фактически не зависит от исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, что соответствует предыдущему случаю (рис. 1). Однако, время обработки, при котором происходит стабилизация во времени шероховатости поверхности, увеличивается до 25 мин (рис. 2). Следовательно, чем выше исходная шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, тем больше время, необходимое для обеспечения стабилизации микрорельефа обработанной поверхности. Таким образом, экспериментально установлены зависимости шероховатости поверхности от времени обработки при различной исходной шероховатости $R_{a.исх}$, а также определено время, необходимое для обеспечения стабилизации микрорельефа обработанной поверхности. Параметры обработки устанавливались следующими: абра-

зивный материал – шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый) зернистостью 40П (400 мкм); давление сжатого воздуха перед соплом 0,5 МПа; количество абразивного материала 0,18 л; объем воды в рабочей камере 3 л.

На основе полученных экспериментальных данных можно заключить, что при формировании шероховатости возможны три случая: в процессе обработки исходная шероховатость поверхности увеличивается; формируется новый микрорельеф без изменения показателя исходной шероховатости; шероховатость поверхности в процессе обработки уменьшается. Очевидно, возникновение того или иного случая зависит от высоты неровностей исходной поверхности, размеров лунок, оставляемых абразивными зернами, количества зерен, контактирующих с обрабатываемой поверхностью, а также от времени, необходимого для формирования нового микрорельефа. Таким образом, реальные технологи-

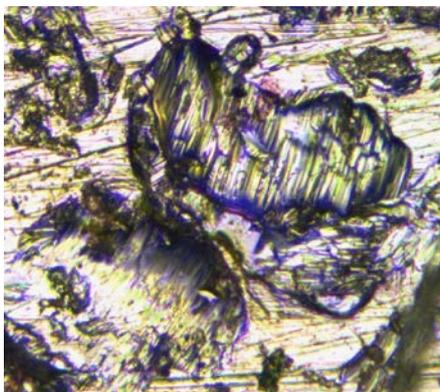


Рис. 3. Фотография единичного следа абразивного зерна на поверхности латунного образца. $\times 625$

ческие особенности процесса формирования микрорельефа позволяют представить его в виде последовательности единичных актов контактного взаимодействия на элементарном участке обрабатываемой поверхности. Каждый единичный акт контактного взаимодействия вызывает определенные изменения на обрабатываемой поверхности. Происходит деформация выступов профиля, удаление материала из лунки, в окрестности точки контакта формируется новый микрорельеф поверхности. На рис. 3 приведена фотография единичных контактов взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью, т.е. реальный процесс формирования шероховатости поверхности происходит в течение вполне опре-

деленного промежутка времени.

На рис. 4 приведены графики изменения высоты микронеровностей поверхности R_{max} по мере увеличения времени обработки τ для более широкого диапазона значений исходной шероховатости.

Как видно, высота микронеровностей поверхности R_{max} в первоначальный момент обработки претерпевает изменения (уменьшение или увеличение в зависимости от исходной шероховатости), а затем стабилизируется во времени, принимая значения $R_{max}=5,6 \dots 5,8$ мкм. Образцы с большей высотой микронеровностей дают крутую кривую уменьшения высоты микронеровностей, а с меньшей высотой микронеровностей – пологую кривую увеличения высоты микронеровностей.

С целью выявления закономерностей формирования микрорельефа, полученного в результате абразивной обработки затопленными струями, выполнены экспериментальные исследования по установлению влияния зернистости абразива на съем металла и шероховатость поверхности (рис. 5, рис. 6) для различных значений исходной шероховатости.

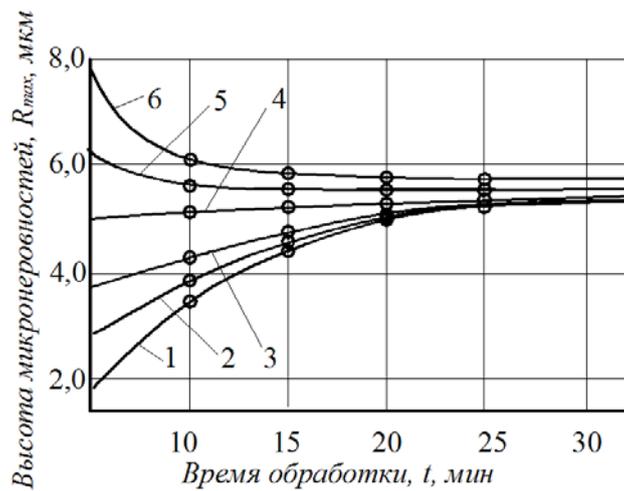


Рис. 4. Изменение высоты микронеровностей поверхности R_{max} с течением времени обработки τ в зависимости от исходной шероховатости R_{max} : 1 – 1,6 мкм; 2 – 3,0 мкм; 3 – 3,6 мкм; 4 – 5,0 мкм; 5 – 6,4 мкм; 6 – 8 мкм. Условия обработки: шлифзерно 63С; зернистость абразива 63П (630 мкм); угол наклона осей сопел к горизонту 15° ; давление сжатого воздуха 0,5 МПа

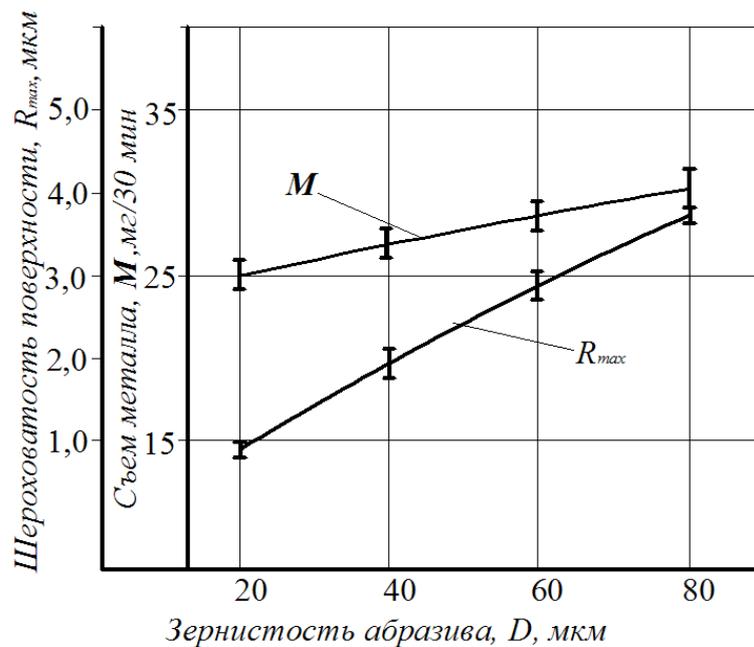


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности R_{max} и съема металла M от зернистости абразива 63С (карбид кремния зеленый) при исходной шероховатости $R_{max} = 0,8$ мкм (глянцевая поверхность)

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

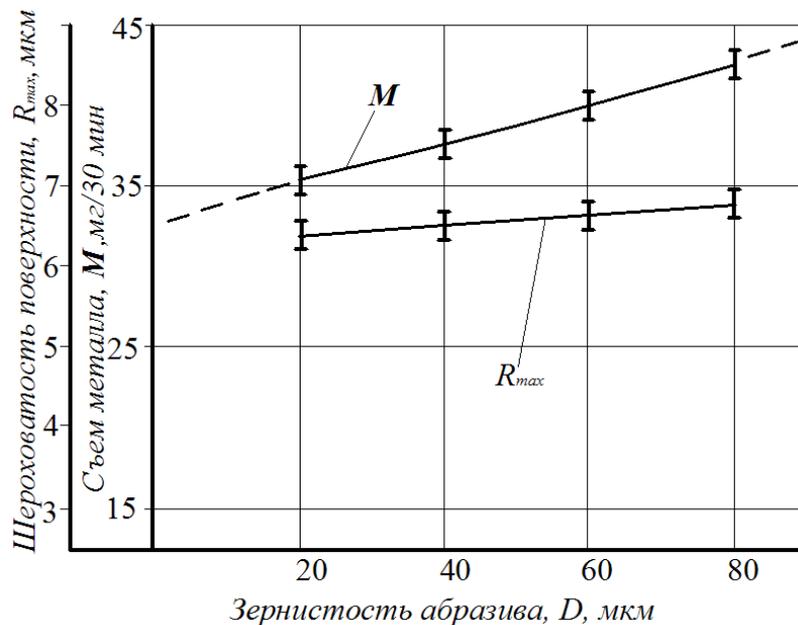


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности R_{max} и съема металла M от зернистости абразива 63С (карбид кремния зеленый) при исходной шероховатости $R_{max} = 6,3$ мкм

Таким образом, экспериментально определена шероховатость поверхности при абразивной обработке затопленными струями и установлено, что с течением времени обработки она стабилизируется на одном уровне независимо от исходной шероховатости поверхности.

Список литературы: 1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 177 с. 2. Андилахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А. А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с. 3. Андилахай А.А., Новиков Ф.В. Теоретические и экспериментальные исследования динамики струйно-абразивной обработки // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту: Зб. наук. праць. – Серія: Технічні науки. – Мариуполь: ПДТУ, 2010. – Вип. 20. – С. 206-212.

УДК 621.923

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Дитиненко С.А., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця)

The paper identifies the main conditions of temperature reduction in grinding

Температурный фактор является основным ограничением повышения качества и производительности при шлифовании, т.к. вследствие высокой температуры резания на обрабатываемых поверхностях образуются прижоги, микро-

трещины и другие температурные дефекты. Это требует снижения параметров режима шлифования и производительности обработки. В настоящее время накоплен большой арсенал различных технологических средств снижения температуры при шлифовании. Вместе с тем, при изготовлении ответственных деталей машин и систем из труднообрабатываемых материалов постоянно возникают проблемы поиска новых путей снижения температуры при шлифовании.

Необходимо отметить, что условия снижения температуры при шлифовании исследованы в работах [1-3]. На основе решения дифференциального уравнения теплопроводности Лапласа получены фундаментальные решения по определению температуры при шлифовании, что позволило установить оптимальные параметры режима шлифования и характеристики круга с учетом ограничения по температурному фактору. Теоретически и экспериментально доказана эффективность применения прерывистого шлифования с точки зрения снижения температуры резания [1]. Вместе с тем, в математической физике существуют и другие решения уравнения теплопроводности [4], используемые в различных отраслях науки и техники. Поэтому важно их проанализировать применительно к процессу шлифования для выявления новых условий снижения температуры. Целью исследования является теоретический анализ условий снижения температуры при шлифовании на основе использования классического решения дифференциального уравнения теплопроводности для неустановившегося во времени теплового процесса. Предполагается установление влияния параметров режима шлифования и различных физических и технологических параметров процесса на температуру резания, что позволит выявить условия ее снижения без уменьшения производительности обработки.

В работе [1] температура при шлифовании определяется на основе расчетной схемы, в которой снимаемый припуск представлен в виде множества

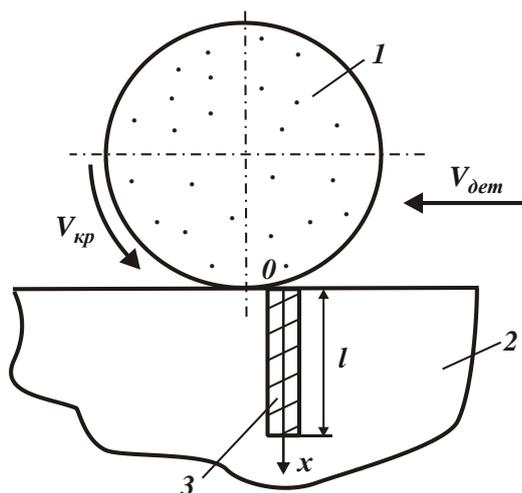


Рис. 1. Расчетная схема температуры при шлифовании:
1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень

элементарных прямолинейных адиабатических стержней, которые перерезаются со скоростью перемещения детали $V_{дет}$ шлифовальным кругом, вращающимся со скоростью $V_{кр}$ (рис. 1). На каждый адиабатический стержень (стенки которого изолированы) действует тепловой источник плотностью q_0 , что приводит к распространению лишь вдоль стержня. В работе [4] получено решение дифференциального уравнения теплопроводности для неустановившегося во времени теплового процесса применительно к шлифованию адиабатического полубесконечного стержня (на рис. 1 показанном длиной l), на торце которого действует тепловой поток постоянной плотности q_0 :

$$\theta(x, \tau) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x^2}{4 \cdot a^2 \cdot \tau}} - \frac{q_0}{\lambda} \cdot x \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}} \right) \right], \quad (1)$$

где $\theta(x, \tau)$ – температура при шлифовании, К; $a^2 = \lambda / c \cdot \rho$ – коэффициент температуропроводности материала, м²/с; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; q_0 – плотность теплового потока, Вт/м²; τ – время обработки, с; x – координата (рис. 1).

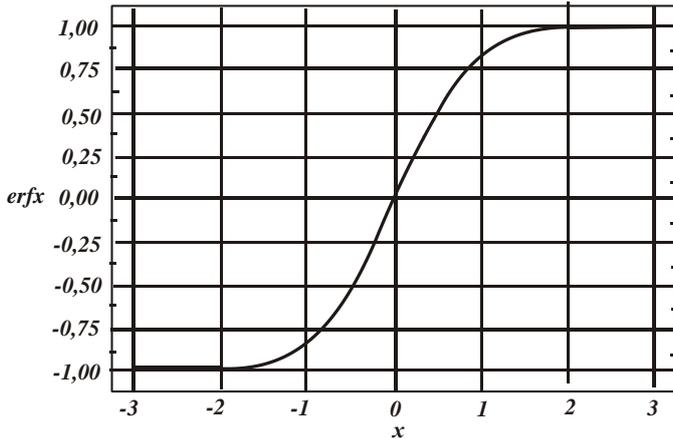


Рис. 2. График функции $\operatorname{erf} x$

Здесь $\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2} \cdot dt$ –

табулированная функция, график которой показан на рис. 2 [5]. Из зависимости (1) вытекает, что максимальная температура достигается в точке контакта шлифовального круга с адиабатическим стержнем, т.е. в точке $x=0$ – на обрабатываемой поверхности. По мере заглубления в поверхностный слой обрабатываемой детали

($x > 0$) температура адиабатического стержня θ уменьшается. Это соответствует практическим данным и позволяет использовать зависимость (1) для поиска путей уменьшения температуры при шлифовании. Поэтому зависимость для определения максимальной температуры при шлифовании θ , равной температуре на торце адиабатического стержня при $x=0$, принимает вид:

$$\theta = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q_0}{\lambda}. \quad (2)$$

Как видно, добиться уменьшения температуры при шлифовании можно двумя путями: уменьшением времени контакта круга с фиксированным сечением обрабатываемой поверхности детали τ и плотности теплового потока q_0 . Уменьшение τ предполагает применения прерывистого шлифования, а также многопроходного шлифования, характеризующегося увеличенной скоростью перемещения детали $V_{дет}$, поскольку $\tau = L / V_{дет}$, где L – длина контакта круга с обрабатываемой поверхностью детали, м. Однако, как следует из зависимости (2), время τ в меньшей мере влияет на температуру при шлифовании θ , чем плотность теплового потока q_0 . Поэтому добиться уменьшения температуры при шлифовании θ можно, прежде всего, за счет уменьшения плотности теплового потока q_0 .

Очевидно, параметры τ и q_0 взаимосвязаны между собой. Тогда зависимость (2) с учетом известных преобразований [2] ($q_0 = N / F$; $N = P_z \cdot V_{кр}$ –

мощность шлифования, Вт; $P_z = \sigma \cdot S_{мгн}$ – тангенциальная составляющая силы резания, Н; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S_{мгн} = Q/V_{кр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами шлифовального круга, м²; $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ – производительность обработки, м³/с; B – ширина шлифования, м; t – глубина шлифования, м; $F = B \cdot L$ – площадь контакта круга с обрабатываемой поверхностью детали, м²; $L = \sqrt{2 \cdot t / (1/R_{кр} + 1/R_{дет})}$; $R_{кр}$, $R_{дет}$ – радиусы круга и детали, м; $\tau = L/V_{дет}$) примет вид:

$$\theta = 0,95 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{Q_{уд}}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}} \right)}, \quad (3)$$

где $Q_{уд} = V_{дет} \cdot t$ – удельная производительность обработки, м²/с.

Согласно зависимости (3), основное влияние на температуру при шлифовании θ оказывает условное напряжение резания σ : с его уменьшением температура θ уменьшается. Следовательно, основным путем уменьшения θ является повышение режущей способности круга за счет обеспечения высокой остроты режущих зерен и снижения интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом. Для этого необходимо применять эффективные методы правки круга – механические и электрофизикохимические (при шлифовании алмазными кругами на прочных металлических связках).

Удельная производительность обработки $Q_{уд}$ влияет на температуру при шлифовании θ в меньшей мере, чем условное напряжение резания σ . Поэтому эффективность снижения температуры при шлифовании θ в связи с уменьшением $Q_{уд}$ ниже, чем от уменьшения условного напряжения резания σ . Еще ниже эффективность снижения температуры при шлифовании θ от уменьшения глубины шлифования t , поскольку она входит в зависимость (3) в степени 0,25. Исходя из этого, целесообразно использовать многопроходное шлифование, характеризующееся относительно небольшой глубиной шлифования t и увеличенной скоростью перемещения детали $V_{дет}$. Однако, как отмечалось выше, основной эффект снижения температуры при шлифовании θ состоит в выборе оптимальной характеристики круга, обеспечивающего существенное уменьшение условного напряжения резания σ . В связи с этим, на финишных операциях шлифования эффективно применять шлифовальные круги на относительно мягких связках, работающих в режиме самозатачивания. Необходимо отметить, что при условии значительного уменьшения условного напряжения резания σ появляется возможность увеличения глубины шлифования t и удельной производительности обработки $Q_{уд}$ для заданной температуры при шлифовании θ , т.е. появляется возможность осуществления высокопроизводительного глубинного шлифования, что согласуется с практическими данными.

Таким образом, на основе классического решения уравнения теплопроводности для неустановившегося во времени теплового процесса проведен анализ влияния условий обработки на температуру при шлифовании. Теоретически установлено, что основным условием уменьшения температуры при шлифовании является уменьшение условного напряжения резания, определяющего энергоемкость обработки. Поэтому добиться снижения температуры при шлифовании без уменьшения производительности обработки можно в первую очередь за счет повышения режущей способности шлифовального круга и снижения трения в зоне обработки, что согласуется с практикой шлифования.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. "Теплофизика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с. 3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 4. Чупров И.Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа: учебное пособие / И.Ф. Чупров, Е.А. Канева, А.А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2004. – 128 с. 5. Полянский В.И. Технологическое обеспечение качества и производительности механической обработки отверстий в деталях гидроаппаратуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Полянский Владимир Иванович. – Харьков, 2012. – 221 с.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ НАПЛАВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ ПСТМ

Тищенко Л.Н., докт. техн. наук, **Коломиец В.В.**, докт. техн. наук,
Любичева К.М. (Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко)
Фадеев В.А., докт. техн. наук (ГП ХМЗ "ФЭД", г. Харьков)
Клименко С.А., докт. техн. наук (Институт сверхтвердых материалов
имени В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев)
Vijay Kumar, prof. (Dr) (г. Дели, Индия)

The sieges of physical descriptions of process of the clean sharpening of wear proof melted materials by cutters which are made of super hard material – are given in this work

Определение механических и физических характеристик процесса резания материалов составляет научную основу назначения оптимальных режимов резания. Известно, что процесс резания материалов сопровождается деформацией и разрушением срезаемого слоя обрабатываемой заготовки, интенсивным трением между деталью, инструментом и стружкой, значительными динамическими и тепловыми явлениями [1]. Изнашивание режущего инструмента происходит из-за трения, высокой температуры, вибраций и термомеханических

явлений, нередко приводящих к разрушению целостности материала инструмента [2]. Проведенными опытами и практикой установлено, что обработка резанием наплавленных материалов, имеющих большую гамму различных неоднородностей и нестабильностью свойств, сопровождается повышенными механическими и физическими характеристиками, которые приводят к более интенсивному изнашиванию всех режущих инструментов, в том числе и из сверхтвердых материалов [3, 4]. В данном исследовании для более заметного определения влияния неоднородностей наплавленных материалов на физические характеристики процесса резания нами специально были подобраны порошковые наплавочные материалы с большой степенью неоднородностей [5].

Наплавку штоков цилиндров осуществляли самозащитными порошковыми проволоками ПП-Нп-30X12СМТ и ПП-Нп-30X5Г2СМ и для сравнения износостойкой легированной проволокой Нп-40X8С2, которую широко применяют для восстановления изношенных осей балансиров гусеничных машин. Наплавку штоков проводили открытой дугой со следующими режимами: $I = 260 - 320$ А; $U = 24 - 26$ В; $V = 15 - 20$ м/ч, при обратной полярности тока и диаметре проволоки 2,6 мм шланговым полуавтоматом типа А825М смонтированном на токарно-винторезном станке. Изношенные штоки цилиндров наплавляли в один слой.

Химический состав наплавленных материалов, их твердость и установленные ранее коэффициенты неоднородности были следующими:

ПП-Нп-30X12СМТ – 0,27-0,32%С; 0,63-0,7%Si; 0,97-1,2%Mn; 10,8-12,5%Cr; 0,9-1,3%Ni; 0,11-0,14%Ti; 0,16-0,22%Mo; остальное Fe. (HRC 53-56). $K_n = 5,7$.

ПП-Нп-30X5Г2СМ – 0,25-0,37%С; 0,6-1,1%Si; 1,4-2,2%Mn; 4,6-5,5%Cr; 0,15-0,4%Ni; 0,5- 0,8%Mo; остальное Fe. (HRC 50-58). $K_n = 5,8$.

Нп-40X8С2 – 0,32-0,4%С; 1,6-1,8%Si; 0,2-0,3%Mn; 0,1-0,25%Mo; 0,5-0,8%Cu; остальное Fe. (HRC 50-58). $K_n = 2,7$, где K_n – коэффициент неоднородности наплавки [6].

Установлено, что большинство механических и физических характеристик процесса резания материалов взаимосвязаны. Поэтому их следует определять при одинаковых условиях и режимах резания одними и теми же инструментами.

В данном исследовании определяли следующие механические характеристики процесса резания: поперечную усадку стружки, угол сдвига и длину контакта стружки при чистовом точении на оптимальных режимах резания и геометрии режущих элементов резцов из твердого сплава Т15К6 и из сверхтвердого материала на основе нитрида бора – гексанида – Р. Для сравнения полученных величин характеристик в табл. 1 приведены опытные значения коэффициентов усадки стружки ξ , углов сдвига Φ и длины контакта стружки с передней поверхностью резцов l на оптимальных скоростях резания. Из табл. 1 видно, что механические характеристики процесса резания наплавов разной неоднородности зависят от инструментального материала. Меньшие величины усадки

стружки и длинны ее контакта наблюдаются при точении резцами из сверхтвердого материала гексанита-Р, а угол сдвига при таком же точении резцами из твердого сплава Т15К6 больше.

Таблица 1

Опытные величины механических характеристик процесса резания

Марка наплавки	Твердый сплав Т15К6*			Гексанит - Р**		
	ξ	Φ , град.	l , мм	ξ	Φ , град.	l , мм
ПП-Нп-30Х12СМТ	2,2	20	0,28	1,8	28	0,12
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	2,3	21	0,30	1,95	33	0,12
Нп-40Х8С2	2,9	25	0,42	2,3	40	0,15

Примечание: * при: $V = 0,5$ м/с; $S = 0,2$ мм/об; $t = 1,0$ мм; $\gamma = 0^0$; $\delta = 90^0$;

**при: $V = 1,5$ м/с; $S = 0,1$ мм/об; $t = 0,3$ мм; $\gamma = 0^0$; $\delta = 80^0$; $h_3 = 0,1$ мм.

Различные механические характеристики стружкообразования должны приводить и к различным физическим характеристикам процесса резания этими инструментальными материалами. Это подтверждают данные опытов по определению и расчету физических характеристик приведенных в табл. 2. В этой таблице приведены коэффициенты трения μ , тангенциальные силы резания P_z , и температуры резания θ °С при оптимальных режимах резания и оптимальной геометрии режущих инструментов.

Таблица 2

Опытные величины физических характеристик процесса резания

Марка наплавки	Твердый сплав Т15К6*			Гексанит-Р**		
	μ	P_z , Н	θ , °С	μ	P_z , Н	θ , °С
ПП-Нп-30Х12СМТ	0,24	160	900	0,12	110	1000
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	0,28	150	850	0,13	120	1000
Нп-40Х8С2	0,32	200	950	0,16	140	1100

Примечание: * при $V = 0,5$ м/с; ** при $V = 1,5$ м/с;

$S = 0,1$ мм/об; $t = 0,2$ мм; $h_3 = 0,2$ мм; $\delta = 90^0$; $\gamma = -10^0$; $\alpha = 10^0$.

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что величины коэффициентов трения у твердого сплава Т15К6 с наплавленными материалами почти в 2 раза больше чем у гексанита-Р, величины силы резания P_z немного больше, а температуры резания меньше. Это можно объяснить различными оптимальными скоростями резания и механическими характеристиками процесса резания (см. табл. 2). Таким образом, из представленных опытных величин механических и физических характеристик процесса резания неоднородных наплавленных материалов видно преимущество резцов из гексанита-Р, что и приводит к их большей стойкости при повышенных скоростях резания.

Список литературы: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.3. «Резание материалов лезвийными инструментами». – Одесса: ОНПУ, 2003 – 546 с. 2. 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. – 580 с. 3. Pankaj Kumar Mishra, Ramkishor Gupta, Vijay Kumar, Kolomiets V.V. Surface parameters of hardened steels by machining using cubic nitride cutting tool /National Conference – 31st August, 2013, i-iv 158-163. 4. Vijay Kumar, Pankaj Kumar Mishra, Kolomiets V.V. Improvement of the Life of Cutting Nool with the Coating of CBN. /All India Seminars on its Management (RAMM – 14). February 07-08 2014. The INSTITUTION OF ENGINEERC (DELHI, INDIA) 4i. 5. Коломиец В.В. Новые инструментальные материалы и области их применения: учебное пособие / В.В. Коломиец. – Киев: УМКВО, 1990. – 64 с. 6. Обработка резанием деталей с покрытиями: монография. Под общей редакцией С.А. Клименко / С.А. Клименко, В.В. Коломиец, М.Л. Хейфец и др. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.

УДК 621.923

ЕФЕКТИВНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЯВИЩ ПРИ ШЛІФУВАННІ КРУГАМИ ІЗ ПОКРИТТЯМ ЗЕРЕН НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Лавріненко В.І., докт. техн. наук, **Дєвицький О.А.**, канд. техн. наук,
Пасічний О.О., канд. техн. наук, **Кухаренко С.А.**, канд. техн. наук, **Ситник Б.В.**
(Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, м. Київ)

The paper discusses the issues of efficient use of electrical phenomena circles coated grains of superhard materials

За сучасних умов суспільного та промислового розвитку світу важливим є пошук шляхів енергозбереження за рахунок внутрішніх резервів, що закладені в новітніх матеріалах та технологіях їх оброблення, які базуються на застосуванні сучасного обладнання та інструменту з надтвердих матеріалів (НТМ), що характеризується високими експлуатаційними характеристиками.

У багатьох випадках для досягнення високих показників процесу шліфування застосовують введення додаткової енергії в зону оброблення, в тому числі електричної (процеси електроерозійного та електрохімічного оброблення), що дозволяє підвищити різальну здатність абразивного інструменту з НТМ, але можливим негативним наслідком цього є збільшення відносних витрат зерен НТМ, а також погіршення якості оброблюваної поверхні. Викликане це в першу чергу тим, що додаткова енергія, яка надходить в зону оброблення, є здебільшого надлишковою і бажано її дозувати, або керовано обмежувати. Крім того, даний метод підвищення ефективності шліфування є досить енергоємним.

В свою чергу, в процесі шліфування виникають електричні явища, які на пряму пов'язані з процесом алмазно-абразивного оброблення і безпосередньо

впливають на його експлуатаційні характеристики. Тому, застосування електричних явищ, що виникають в зоні оброблення, дозволить отримати високоефективний процес шліфування і, при цьому, відмовитись від додаткового зовнішнього впливу на нього, що сприятиме зменшенню енергоємності оброблення. Одним зі шляхів підвищення ефективності шліфування є застосування покриттів робочих зерен алмазно-абразивного інструмента. Покриття зерен НТМ сприяють зміні фрикційного контакту інструмента з оброблюваною деталлю і, як наслідок, таким чином можна керувати електричними процесами, що супроводжують абразивне оброблення.

Мета роботи полягала в дослідженні та пошуку шляхів ефективного застосування електричних явищ, що супроводжують абразивне оброблення кругами з покриттям зерен НТМ.

На першому етапі досліджено вплив склопокриттів зерен НТМ на електризацію при абразивному обробленні зразків зі швидкорізальної сталі Р6М5 кубонітовими кругами типу 12А2-45°, габаритних розмірів 125x5x3x32 на полімерному зв'язуючому ВР. Дослідження проводились на універсально-заточному верстаті 3В642. Застосовувалися склопокриття силікатної системи $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ та свинцевої системи $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ з різними модифікаційними домішками (наповнювачами), що вносились у скло цих систем, та їх різним вмістом. На відміну від скла свинцевої системи скло силікатної системи має більш високі фізико-механічні властивості. Разом з тим вони більш тугоплавкі і температура їх трансформації (T_a) на 200...300 °С вище, ніж температура трансформації скла свинцевої системи. При термообробленні скла двох систем перше, найбільш тугоплавке, розчинюється у другому, легкоплавкому. З підвищенням температури кількість розчиненого скла збільшується і утворюються псевдокомпозити з більш високими фізико-механічними властивостями, ніж у вихідного скла обох систем. Це обумовлено різницею характеру релаксійних та дифузійних процесів в індивідуальних стеклах та їх сумішах. У таких системах виникають інтенсивні іонообмінні процеси, рушійною силою яких є прагнення вирівняти концентрацію іонів по обидва боки міжфазової границі.

З метою регулювання властивостей композитів у їх склад, як правило, вводяться наповнювачі. У якості наповнювачів використані дисперсні модифікаційні домішки тугоплавких оксидів ZrO_2 , TiO_2 та Al_2O_3 , які не утворюють скло, але при розчиненні скла не послаблюють, а зміцнюють склоподібну сітку і, відповідно, утворюються композити з підвищеними фізико-механічними властивостями та кращими експлуатаційними характеристиками, що піддаються регулюванню. Модифікаційні домішки вводились у межах 10...30 мас. %.

Для оцінки величини заряду досліджуваного об'єкту визначали напруженість електростатичного поля, створеного цим зарядом. Величина напруженості електростатичного поля при дослідженнях фіксувалася безконтактним шляхом вимірювачем параметрів електростатичного поля ИПЭП-1, що встановлювався на постійній відстані до вимірювального об'єкту, на якому спостерігається накопичення зарядів. Тому, напруженість електростатичного поля можна вирази-

ти за формулою: $E = K \cdot q$, де $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 2,2 \cdot 10^{13} \frac{В}{м \cdot Кл}$ – коефіцієнт, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – електрична постійна, $r = 20 \text{ мм}$ – постійна відстань до об'єкту вимірювання.

Визначали напруженість електростатичного поля продуктів шліфування (шламу), оскільки вони містять у своєму складі мікрочастинки як оброблюваного матеріалу, так і робочого шару алмазно-абразивного інструменту

Результати засвідчили, що наявність склопокриття підвищує напруженість електростатичного поля шламу після абразивного оброблення, причому найбільша її величина спостерігалась після шліфування кругами з модифікаційною домішкою Al_2O_3 , найменша – з TiO_2 .

Також, визначено значення напруженості електростатичного поля шламу від процентного вмісту модифікаційних домішок в склопокритті зерен кубонітових кругів при відповідній продуктивності оброблення. Встановлено, що чим більшим є процентний вміст модифікаційних домішок, тим напруженість електростатичного поля шламу після оброблення – вища (рис. 1).

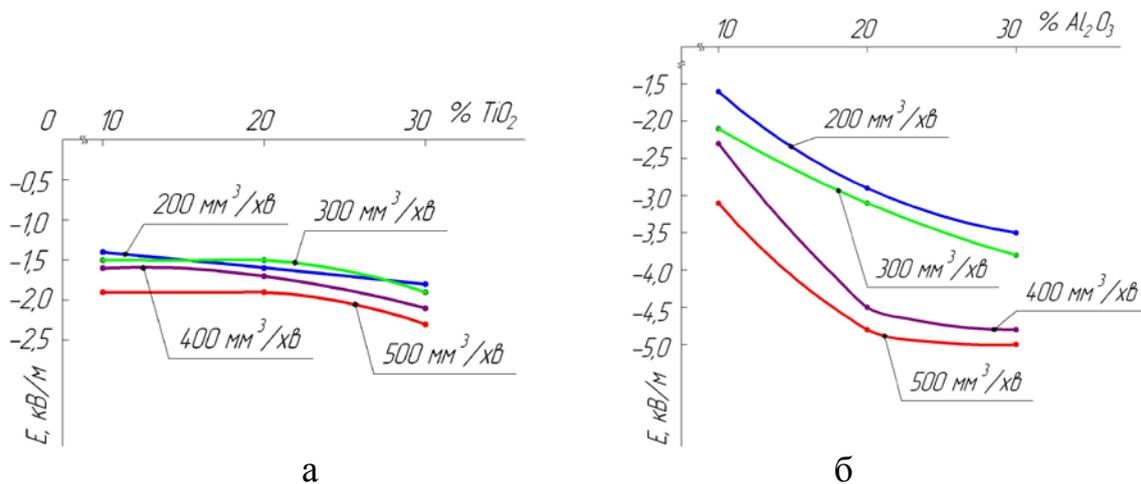


Рис. 1. Залежність напруженості електростатичного поля шламу від процентного вмісту модифікаційних домішок в робочому шарі кругів з НТМ: а – після шліфування кругами з модифікаційними домішками TiO_2 у склопокритті кубонітових зерен; б – після шліфування кругами з модифікаційними домішками Al_2O_3 у склопокритті кубонітових зерен

При шліфуванні кругами з НТМ з модифікаційними домішками в склопокритті різальних зерен визначено відносні витрати зерен НТМ q , мг/г та шорсткість обробленої поверхні Ra , мкм. На рис. 2 представлені узагальнені кореляційні залежності зносостійкості кубонітових кругів від напруженості електростатичного поля шламу для різних модифікаційних домішок, внесених до покриття зерен КНБ, за умов різної продуктивності оброблення. Результати засвідчили, що наявність склопокриття підвищує напруженість електростатичного поля шламу після абразивного оброблення, причому найбільша її величина спо-

стерігалась після шліфування кругами з модифікаційною домішкою Al_2O_3 в склопокритті зерен, найменша – з TiO_2 .

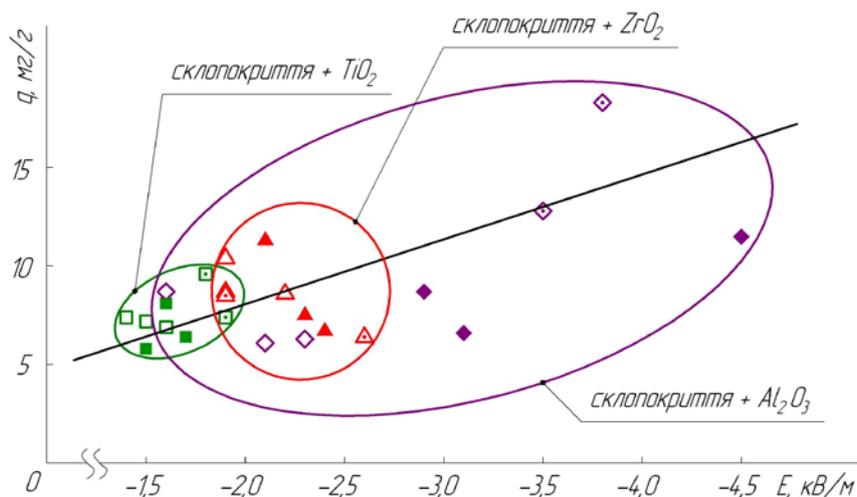


Рис. 2. Кореляційні залежності відносних витрат кубонітових зерен в шліфувальних кругах від напруженості електростатичного поля шламу для різних модифікаційних домішок в склопокритті зерен КНБ

Результати досліджень говорять про те, що із зростанням напруженості електростатичного поля зносостійкість кругів зменшується, а це означає, що зміною вмісту модифікаційних домішок у склопокритті зерен можна суттєво впливати на напруженість електростатичного поля, а відтак і на зносостійкість кругів, оскільки такі домішки впливають на розкриття різальної поверхні кругів, а відтак і на шорсткість обробленої поверхні та електризацію в зоні оброблення.

На рис. 3 представлені кореляційні залежності шорсткості обробленої поверхні зразка зі сталі Р6М5 від напруженості електростатичного поля шламу після шліфування кубонітовими кругами з різним склопокриттям робочих зерен. Видно, що чіткої залежності між напруженістю електростатичного поля та шорсткістю не спостерігається, тим не менш, варто зауважити, що якщо нам необхідно досягти менших значень показника шорсткості Ra , то краще у якості наповнювача в склопокриття зерен вводити домішку Al_2O_3 .

Для кругів на металевому зв'язуючому найефективнішим способом врахування інтенсивності дії електризації на процес шліфування є сигнал термоЕРС, оскільки в даному випадку створюється загальна струмопровідна система (струмопровідний інструмент – струмопровідна деталь).

При абразивному обробленні основну роль у виникненні термоЕРС відіграють як зв'язка круга, так і різальні зерна з наявністю провідного покриття. Тому реальним засобом впливу на зону різання є покриття зерен, оскільки це дозволяє знайти оптимальне поєднання характеристик робочого шару кругів з НТМ та оброблюваних матеріалів, при застосуванні одної марки зв'язки, і, тим самим, зміщувати значення термоЕРС у напрямку, необхідному для підвищення ефективності процесу шліфування.

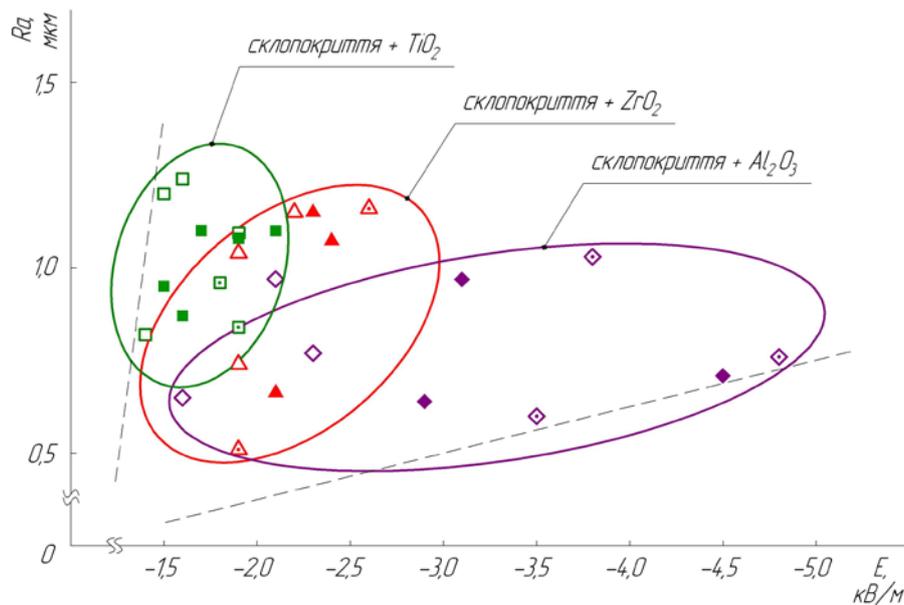


Рис. 3. Кореляційні залежності шорсткості обробленої поверхні деталі від напруженості електростатичного поля шламу для різних модифікаційних домішок в склопокритті зерен КНБ

Досліджено термоЕРС при шліфуванні швидкорізальної сталі Р6М5 кубонітовими кругами з покриттям різальних зерен. Для зерен з кубічного нітриду бору КР 125/100 застосовували свинцевоборосилікатне скло системи $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$. Також зерна із вказаним склопокриттям додатково металізували титаном (~9 мас %, як дифузійне технологічне покриття), титаном та нікелем (~20 мас. %), титаном та міддю (~20 мас. %).

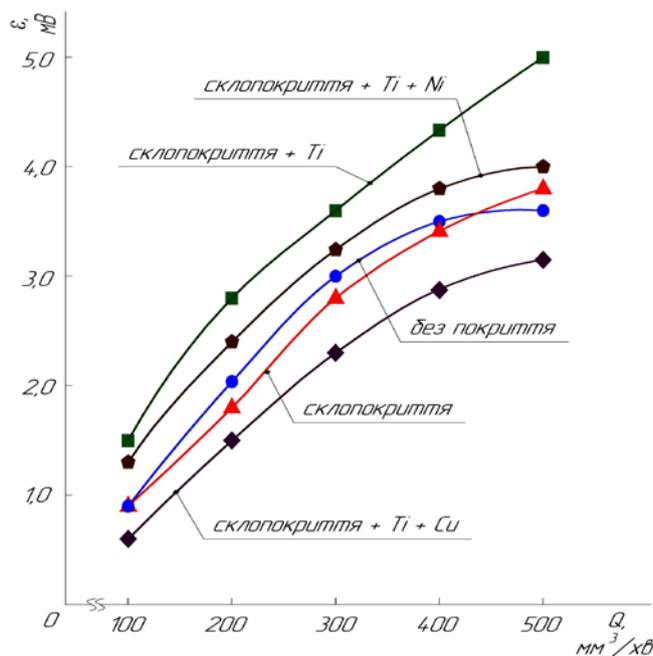


Рис. 4. Залежності термоЕРС від продуктивності шліфування кубонітовими кругами з різним покриттям зерен

З даними зернами виготовлені шліфувальні круги типорозміру 12А2-45° 125x5x3x32 на металевій зв'язці М1-10. Шліфування зразків зі швидкорізальної сталі Р6М5 проводили на продуктивностях оброблення від 100 до 500 mm^3/hv . Визначали термоЕРС робочого та холостого ходу методом природної термопари [1].

Апроксимовані графіки залежності термоЕРС від продуктивності обробки наведені на рис. 4. Результати дослідження засвідчили, що зі збільшенням продуктивності шліфування значення термоЕРС зростають. Це пояснюється тим, що зі збільшенням продуктивності оброблення, температура в

зоні шліфування зростає, а термоЕРС є наслідком зміни температури і визначається як: $\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T$, де α – коефіцієнт термоЕРС. Значення величин термоЕРС при шліфуванні кругами без покриття та із склопокриттям майже співпадають, що свідчить про те, що саме склопокриття суттєво не впливає на термоЕРС. В свою чергу, встановлено, що додаткова металізація зерен міддю сприяє зниженню величини термоЕРС, а металізація склопокриття нікелем та титаном сприяють збільшенню термоЕРС. Отже, додаткова металізація робочих зерен впливає на функціонування термоЕРС при обробленні.

Для уточнення впливу металів, що застосовуються при металізації, на перебіг електричних процесів в зоні обробки та відповідної зміни експлуатаційних характеристик кругів досліджена зносостійкість кругів при шліфуванні на продуктивності $Q = 200 \text{ мм}^3/\text{хв}$.

На рис. 5 представлені дані по зв'язку між величиною термоЕРС та відносними витратами зерен КНБ в кругах при шліфуванні. Видно, що технологічне покриття титаном значно погіршує зносостійкість, застосування інших покриттів, навпаки, підвищують зносостійкість шліфувальних кругів у порівнянні із кругами без покриття зерен. Разом з тим, зносостійкість кругів з КНБ є більш високою при застосування склопокриття з металізацією нікелем.

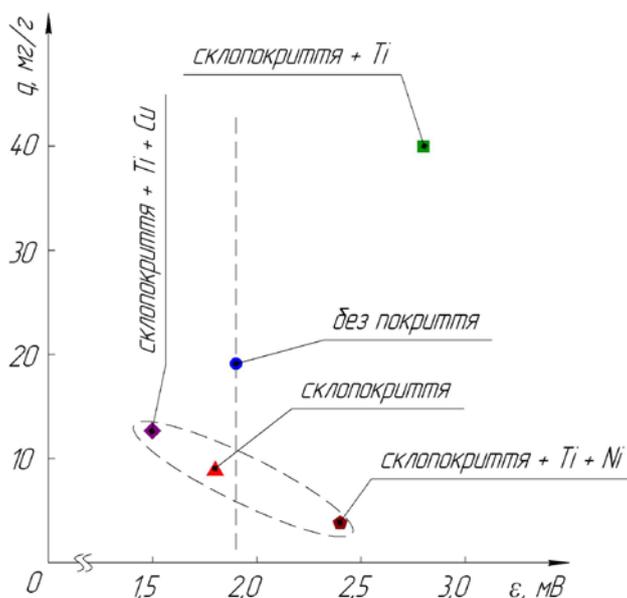


Рис. 5. Зв'язок між величиною термоЕРС та відносними витратами зерен КНБ з різним їх покриттям в кругах при шліфуванні швидкорізальної сталі Р6М5

Таким чином, для суттєвого зменшення величини термоЕРС при шліфуванні кругами з КНБ необхідно застосовувати металізацію склопокриття міддю, а для збільшення – металізацію титаном або нікелем, причому останній є більш сприйнятним з точки зору збільшення зносостійкості.

Подібні дослідження проведені і для процесів шліфування кругами зі склопокриттям алмазних зерен. У якості склопокриття застосовувалось скло системи $Na_2O-B_2O_3-TiO_2-SiO_2$.

Дослідження закономірності зміни величини термоЕРС від продуктивності шліфування засвідчили, що тут є можливість для зміни величини термоЕРС у необхідному для певних умов шліфування напрямку (рис. 6).

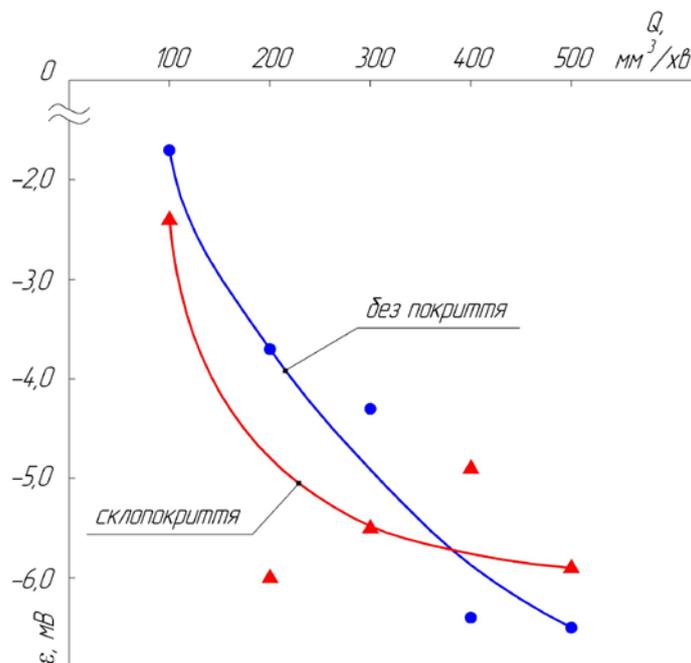


Рис. 6. Залежності термоЕРС робочого та холостого ходу від продуктивності абразивного оброблення при шліфуванні алмазними кругами

Видно, що для алмазних зерен без покриття залежність величини термоЕРС від продуктивності є очікуваною – зростання із збільшенням продуктивності. Але при обробленні кругами зі склопокриттям вказана залежність є іншою. Тут ми спостерігаємо спочатку зростання величини термоЕРС, а потім стабілізацію, а відтак після 400 мм³/хв. для кругів із склопокриттям величина термоЕРС є меншою, аніж для кругів без покриття алмазних зерен. У значній мірі це пов'язано з тим, що для покриття алмазних зерен застосовувалось скло іншої системи, ніж для кубонітових кругів, а саме $Na_2O-B_2O_3-TiO_2-SiO_2$, яке має іншу від вказаної вище системи температури трансформації.

Досліджена зносостійкість алмазних кругів при шліфуванні з продуктивністю 200 мм³/хв. твердого сплаву ВК8 алмазними кругами типорозміру 12А2-45° 125x5x3x32 на металевому зв'язуючому М1-10 з зернами АС6 125/100 без склопокриття та зі склопокриттям алмазних зерен.

На відміну від кругів із зернами КНБ застосування склопокриття для алмазних зерен є недоцільним оскільки відносні витрати алмазів в кругах дещо зростають. Встановлено, що у першому випадку витрати склали 7,1 мг/г, а у другому 9,4 мг/г. Крім того, виявлено, що для алмазних і кубонітових кругів знак термоЕРС є різним, причому, якщо для алмазних кругів при обробці твердих сплавів характерним є від'ємне значення термоЕРС, то для кубонітових кругів при обробці швидкорізальних сталей – додатне значення.

З наведеного вище слід звернути увагу на те, що для алмазних і кубонітових кругів знак термоЕРС є різним, причому для алмазних кругів при обробленні твердих сплавів характерним є від'ємне значення термоЕРС, то для кубонітових кругів при обробленні швидкорізальних сталей – додатне значення, що пояснюється значеннями коефіцієнта термоЕРС. Цю тенденцію необхідно враховувати при створенні умов неявної поляризації, що сприяє утворенню зносостійких електродних плівок [2].

Підсумовуючи результати досліджень, що наведені в даній роботі, варто зауважити, що електричні явища, які спостерігаються при обробленні, безпосередньо пов'язані з експлуатаційними характеристиками процесу шліфування. Застосування покриттів зерен НТМ, які є оптимальними для визначених умов шліфування, дозволяє керувати електричними процесами при обробленні, що, у свою чергу, дасть змогу підвищити зносостійкість інструменту з НТМ до 3-х разів. Крім того, застосування шліфувальних кругів з раціонально підібраним покриттям зерен НТМ у виробничих умовах дозволить досягти ефективного процесу шліфування і в той же час позбутися необхідності додаткового зовнішнього електрофізичного впливу на зону контакту інструменту з деталлю, що, в свою чергу, зменшить енергоємність абразивної обробки.

Список літератури: 1. Лавріненко В.І., Девицький О.А., Ситник Б.В., Пасічний О.О. Методика вимірювання термоЕРС в процесах алмазно-абразивної обробки // Інженерія поверхності и реновация изделий / Зб. тез доповідей – Киев: АТМ України, 2011 – С. 103–105. 2. Лавріненко В.І., Девицький О.А., Пасічний О.О., Проц Л.А. Ефекти, що виникають в процесах електрошліфування, та пошук шляхів їх утворення за умов неявної поляризації або електризації при обробці // Процеси механічної обробки в машинобудуванні / Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – Вип. 13. – С. 112 – 132.

УДК 621. 23.54

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ В КОНСТРУКЦИИ

Гусарев В.С., канд. техн. наук, **Ковальчук Е.Н.**, канд. техн. наук
(Одесский национальный политехнический университет)

The paper shows the application of structural modeling interface components in the product, the route of the assembly process and automatic build system based on algorithms functioning.

Моделирование является одним из эффективных, многообразных и универсальных методов научного познания. Технология машиностроения как наука занимается изучением закономерностей, действующих в процессе изготовления машин. Объектом исследований в технологии машиностроения является технологический процесс (ТП), и машины (оборудование), в которых он реализуется алгоритмом функционирования.

Основной задачей математического моделирования технологических процессов сборки (сопряжения деталей) является установление связей между структурой объекта изготовления и структурой оборудования, на котором реализуется технологические процессы сборки изделия. Сложность поставленной задачи состоит в том, что при построении моделей необходимо выбирать их элементы, исходя из законов проектирования технологических процессов, которые отражены в научной дисциплине – технологии машиностроения.

Чертеж машиностроительной детали или изделия является геометрической моделью объекта изготовления. Однако эта модель неудобна при установлении указанных связей с объектом проектирования технологического процесса. Это неудобство обуславливается следующими факторами:

1. Основное базовое множество M чертежной модели $M_{\text{черт}}$ содержит исходные элементы (отрезки прямых, дуги, точки и др.), т.е. одномерные многообразия на плоскости, составляющие проекции детали, разрезы и сечения. С помощью указанных многообразий распознавание геометрической структуры детали проектировщиком в настоящее время является трудноформулируемой задачей.

2. Содержательные отношения R на базовом множестве M , необходимые для построения технологического процесса, отражены в чертеже в неявной форме (например, протяженность поверхностей в заданных направлениях, бинарные отношения на множестве поверхностей, которые отражают доступность к поверхности с заданного направления и при заданной схеме базирования детали).

Из этого следует, что одна и та же деталь в зависимости от выбора исходного базового множества M и отношений R может иметь бесчисленное множество модельных представлений. Для решения конкретной задачи технологического проектирования (конструкции изделия, технологический процесс изготовления, разработка программы сборки) необходима своя математическая модель, отражающая особенности объекта проектирования.

Сборочная единица (изделие) определяется в технологии машиностроения как множество деталей и сборочных единиц нижнего уровня иерархии путем их соединения, т.е. сопряжения поверхностей основных баз присоединяемой детали и вспомогательных баз базовой детали.

Математическая модель сопряжения деталей в конструкции

Основное свойство соединения (соединение рассматривается как объединение в теоретико-множественном смысле в отличие от процесса) состоит в том, что любая деталь рассматриваемой сборочной единицы в соединении лишена шести степеней свободы, т.е. полностью ориентирована относительно смежных деталей сборочной единицы. Эта ориентация осуществляется через сопряжение поверхностей.

Рассмотрим некоторые примеры математических моделей сопряжения деталей в изделии.

На рис. 1 показана схема установки вала с подшипником в корпусе. Для построения математической модели взаимодействия детали необходимо составить матрицу.

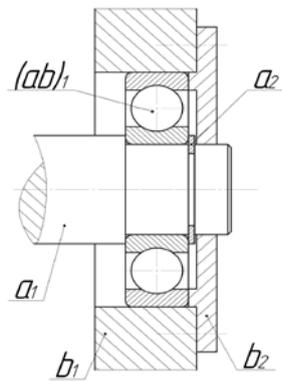


Рис. 1. Схема установки вала с подшипником в корпусе

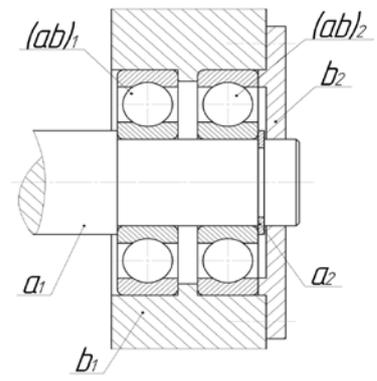


Рис. 2. Схема установки вала с двумя подшипниками в корпусе

Обозначим вал через a_1 , а корпус через b_1 . Тогда крышку, которая сопрягается с корпусом нужно обозначить b_2 , стопорную шайбу обозначаем через a_2 , поскольку она сопрягается с валом. Подшипник, в этом случае, сопрягается как с валом, так и с корпусом, поэтому его обозначим как (ab) .

Теперь нужно построить матрицу сопряжения. В первый столбец запишем элементы, которые относятся к валу, это сам вал a_1 и стопорное кольцо a_2 . Во второй запишем подшипник (ab) . В третий корпус b_1 и крышку b_2 .

Ниже приведена матрица изделия вал, подшипник в корпусе:

$$\begin{vmatrix} a_1 & (ab)_1 & b_1 \\ a_2 & 0 & b_2 \end{vmatrix}$$

Особенностью установки вала с подшипником в корпусе является возможность введения его в корпус, как справа, так и слева. В схеме с двумя подшипниками (рис. 2) установка подшипников должна бы полняться с двух сторон. Матрица изделия вал с двумя подшипниками будет

$$\begin{vmatrix} a_1 & (ab)_1 & b_1 \\ a_2 & (ab)_2 & b_2 \end{vmatrix}$$

Необходимо обратить внимание на уступ в корпусе, который разъединяет подшипники. Следующая схема установки двух подшипников с промежуточным кольцом на валу представлена на рис. 3. Матрица такой конструкции:

$$\begin{vmatrix} a_1 & (ab)_1 & b_1 \\ a_2 & (ab)_2 & b_2 \\ a_3 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Эта конструкция предполагает установку промежуточного кольца на вал между подшипниками. Возможна установка промежуточного кольца в корпус между подшипниками (рис. 4). Матрица такого конструктивного решения:

$$\begin{vmatrix} a_1 & (ab)_1 & b_1 \\ a_2 & (ab)_2 & b_2 \\ 0 & 0 & b_3 \end{vmatrix}$$

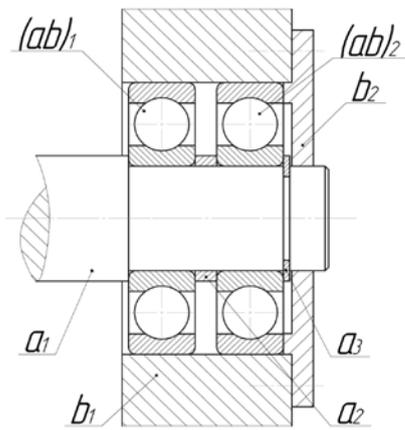


Рис. 3. Схема установки вала с двумя подшипниками и втулкой

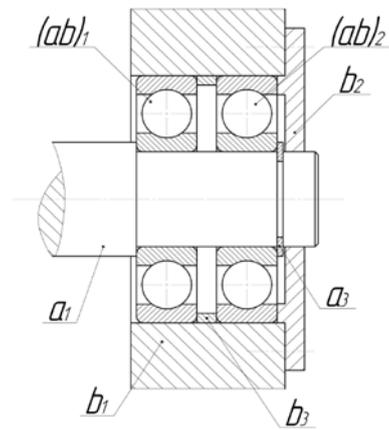


Рис. 4. Схема установки вала с двумя подшипниками и кольцом в корпусе

В данном случае промежуточное кольцо в корпус устанавливается в определенной последовательности с валом и подшипниками.

Все замечания, относящиеся к конструктивным решениям, приводят к различным технологическим процессам сборки.

Математическая модель сборочно-монтажного технологического процесса

Рассмотрим последовательность технологических сборочно-монтажных операций по схеме «осевого монтажа» (рис. 5):

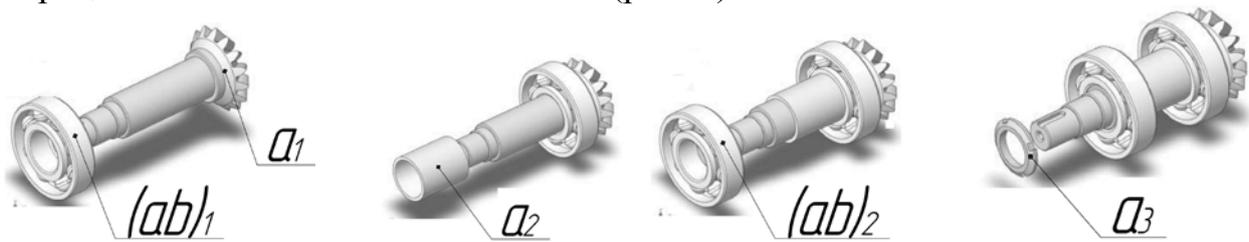


Рис. 5. Последовательность сборки

На вал-шестерню a_1 надевают подшипник $(ab)_1$, затем распорную втулку a_2 , после чего второй подшипник $(ab)_2$ и фиксируют стопорным кольцом a_3 . Матрица изделия представлена ниже.

Каждой матрице изделия однозначно соответствует матрица технологических сборочно-монтажных операций по схеме и граф технологического маршрута (ТМ).

Матрица изделия: Матрица ТОП: Граф ТМ:

$$\begin{bmatrix} a_1 & (ab)_1 \\ a_2 & (ab)_2 \\ a_3 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} A_1 & (AB)_1 \\ A_2 & (AB)_2 \\ A_3 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} \bullet & \rightarrow & \bullet \\ & \checkmark & \\ \bullet & \rightarrow & \bullet \\ & \checkmark & \\ \bullet & & \bullet \end{matrix}$$

Рассмотрим пример из нескольких вариантов сборки: например, сборка «ручная», «на стапеле» и «в автомате» (рис. 6).

При сборке на стапеле все операции собираются последовательно, поэтому алгоритм имеет вид:

$$\left(\frac{U(a_1)}{A_1}\right) \cdot \left(\frac{U(ab)_1}{(AB)_1}\right) \cdot \left(\frac{U(a_2)}{A_2}\right) \cdot \left(\frac{U(ab)_2}{(AB)_2}\right) \cdot \left(\frac{U(a_3)}{A_3}\right)$$

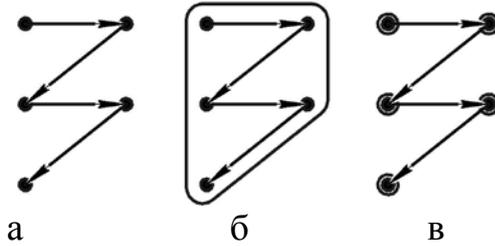


Рис. 6. Гиперграф «ручной» сборки (а), «на стапеле» (б), гиперграф «автосборки» (в). В вариантах а и б все операции подачи $U(a_1)$ и операции установки A_i выполняются последовательно (•)

Структура автоматической сборки «на стапеле» показана на рис. 7.

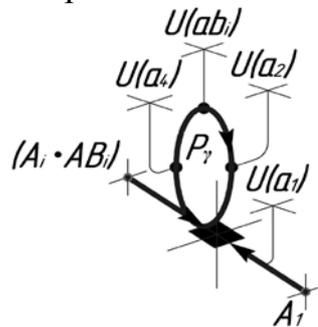


Рис. 7. Структурная схема сборочного автомата на стапеле

Если технологический процесс сборки реализуется вариантом – «автосборки», то есть как многопозиционная система, в которой выполняется автоматическая подача деталей и затем их установка (рис. 8). Матрица дополняется символом автоподдачи $U(a_1)$:

Матрица ТОП (автосборка)

$$\begin{bmatrix} U(a_1) A_1 & U(ab)_1 (AB)_1 \\ U(a_2) A_2 & U(ab)_2 (AB)_2 \\ U(a_3) A_3 & 0 \end{bmatrix}$$

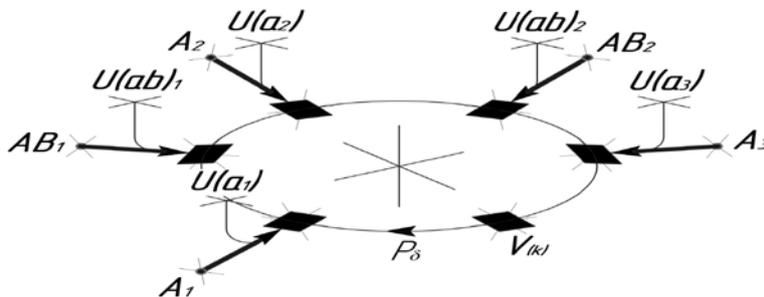


Рис. 8. Автосборка на круговой многопозиционной автоматической линии кольцевого типа P_δ

Алгоритм функционирования автоматической системы «автосборки»:

$$\frac{U(a_1)}{A_1} P_\alpha \circ \frac{U(ab)_1}{(AB)_1} P_\alpha \circ \frac{U(a_2)}{A_2} P_\alpha \circ \frac{U(ab)_2}{(AB)_2} P_\alpha \circ \frac{U(a_3)}{A_3} \circ V$$

Используя « τ -преобразование», по алгоритму функционирования, определим длительность цикла выпуска по варианту «автосборки».

Для первой позиции:

$$\tau \left(\frac{U(a_1)}{A_1} \right) P_\alpha = \tau U(a_1) + \tau A_1 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 EB;$$

Аналогично для второй позиции и следующих позиций.

Поскольку операции на каждой позиции выполняются одновременно, длительность цикла выпуска будет равна наибольшему времени на одной позиции. В нашем случае длительность цикла будет равна времени сборки на первой позиции: $\tau_c = 3 EB$ (здесь EB – расчетная единица времени).

Далее определяем производительность (продуктивность) каждой автоматической системы и запишем ее характеристики.

Производительность оборудования находим по формуле:

$$П = \frac{60 \cdot F}{\tau_c},$$

где F – число потоков сборки; τ_c – время цикла выпуска.

Итоговую характеристику сборочной системы:

Число сборочных позиций $E = 6$.

Число потоков $F = 1$.

Число механизмов $G = 11$.

Рассмотренным приемом возможно моделировать сопряжения деталей в сборочных единицах, моделировать процесс сборки, структуру системы и ее алгоритм функционирования, получая проектные (теоретические) технические характеристики

Список литературы: 1. Гусарев В.С. Модульное построение сборочно-монтажного оборудования для машиностроения / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук // Физические и компьютерные технологии: 10 –я Междунар. научн.-техн. конф. – Харьков: ГП ХМЗ “ФЭД”, 2012. – С. 132–136. 2. Гусарев В.С. Автоматическая сборка массовых изделий / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук, В.Б. Надачин В.Б. / 7-я Международная научно-техническая конференция /«Информационные технологии в промышленности». - IT*2012, . 30–31 октября 2012 года. – Минск, 2012. – С. 71–72. 3. Гусарев В.С. Построение сборочно-монтажного оборудования по модульному принципу / В.С. Гусарев, Е.Н. Ковальчук / 7-я Международная научно-техническая конференция /«Информационные технологии в промышленности». - IT*2012. 30–31 октября 2012 года. – Минск, 2012. – С. 193–194.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ШЛИФОВАНИЯ НЕПОСРЕДСТВЕННО ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛИ

Лебедев В.Г., докт. техн. наук, Клименко Н.Н., канд. техн. наук,
Луговская Е.А., канд. техн. наук
(Одесский национальный политехнический университет)

The technique of experimental research of temperature grinding directly in the processing of parts

Введение. Повышение требований к точности деталей машин, применение новых труднообрабатываемых материалов, применение упрочняющих технологий особенно остро поставили вопрос об эффективной чистовой обработке заготовок, придающей им окончательную точность и необходимый комплекс физико-механических характеристик. Одним из видов такой обработки является чистовая обработка, в частности шлифование.

Формирование физических свойств поверхностного слоя детали при шлифовании - фазово-структурный состав, текстура этого слоя, напряженное состояние его, оказывающие большое влияние на эксплуатационные характеристики детали и на показатели надежности и долговечности наталкивается на серьезные трудности. Известно, что при шлифовании на поверхности детали образуются многочисленные тепловые шлифовочные дефекты, которые снижают общий уровень качества детали. Температура, возникающая в зоне контакта шлифовального круга с деталью, может иметь максимальные значения, достигающие до 1200-1300⁰С, что вызывает глубокие изменения структуры, что создает благоприятные условия для образования остаточных напряжений и как следствие трещин [1]. Как показывает практика шлифования, измерение и определение температур необходимо производить непосредственно при обработке конкретной детали, поскольку перенос результатов измерений температуры на образцах на готовую деталь часто некорректен [2-10].

Цель работы - разработать способ и методику измерения температуры шлифования непосредственно при обработке конкретной детали, что может дать возможность эффективно управлять температурным режимом.

Основная часть. Перемещающиеся с большой скоростью абразивные зерна создают мгновенные тепловые импульсы, интенсивность которых зависит от размеров зерен, глубины вдавливания их в металл и скорости перемещения. Это определяет мгновенную температуру резания отдельными зернами T_m , контактную температуру шлифуемой поверхности T_k , являющуюся результатом суммарного действия множества тепловых импульсов, интенсивное число которых зависит от характеристики шлифовальных кругов, обрабатываемого ме-

талла и режимов обработки, а также суммарную импульсную температуру T_u , представляющую собой сумму мгновенной и контактной температуры шлифования. Контактная температура является наиболее важным фактором, она распространяется вглубь шлифуемой поверхности, разогревая ее, что вызывает изменение фазово-структурного состояния поверхностного слоя.

Из разработанных в настоящее время методов измерения температур шлифования метод срезаемой полуискусственной термопары, состоящей из обрабатываемого металла и термоэлектрода, помещенного в шлифуемую деталь, является наиболее допустимым, удобным, дающим наглядное распределение температуры в зоне резания и позволяет производить регистрацию и измерение температур резания отдельных абразивных зерен непосредственно в зоне шлифования.

Этот метод дает возможность измерять температуру шлифования только на образцах. Учитывая то, что на фазово-структурный состав влияет в основном контактная температура, а желательно измерять температуру на реальной детали во время реального процесса шлифования. В настоящей работе использован метод измерения, основанный на использовании датчика температуры, встроенного в шлифовальный круг.

Основные требования, которые выдерживались при проектировании и расчетах круга-датчика, сводились к следующему: простота устройства, изготовления и обслуживания, высокая точность измерений, малая инерционность, неизменность свойств при правках круга, сохранение исходной шероховатости поверхности по сравнению с обычным шлифовальным кругом, возможность работы с СОТС.

Для удовлетворения этим требованиям разработан специальный термодатчик, помещенный в круг. Термодатчик (рис. 1) состоит из двух фольговых пластин, одна из которых изготовлена из меди, а вторая – из константана, между ними помещается прокладка из неэлектропроводного материала. Фольговые пластины и прокладка склеиваются между собой под прессом бакелитовым лаком или эпоксидным клеем. Общая толщина датчика 1-1,5 мм. Форма датчика соответствует профилю поперечного сечения круга. Для установки датчика в абразивный инструмент в круге необходимо прорезать узкий паз. При установке в круг двух датчиков, расположенных радиально, необходимо прорезать два паза. Длину паза для любого круга можно определить по формуле:

$$K = \frac{D_{нб} - D_{нм}}{2} + 10, \quad (1)$$

где K – длина паза; $D_{нб}$, $D_{нм}$ – наибольший и наименьший диаметры круга.

После установки датчиков в шлифовальный круг последний балансируется и правится по обычной методике. Датчик является органической частью шлифовального круга. Во время правок круга пластины датчика легко перерезаются алмазом, и длина датчика уменьшается в соответствии с уменьшением диаметра шлифовального круга. Прочность круга, как показали испытания на скоростях, равных 1,5 рабочей скорости не нарушается.

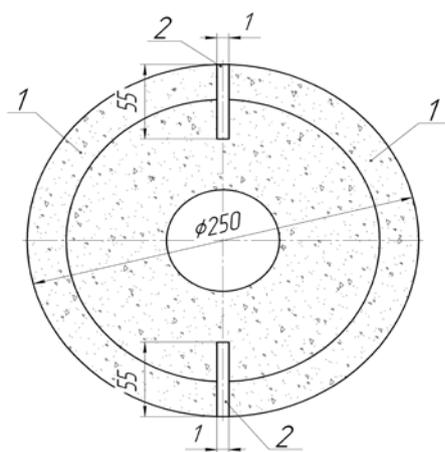


Рис. 1. Круг-термодатчик

Круг (рис.1) содержит два основных рабочих сектора 1 одинаковых характеристик и два термодатчиных сектора 2, расположенных в круге радиально под углом 180° друг к другу. Круг работает следующим образом: при шлифовании термодатчиный сектор 2 касается шлифуемой поверхности и образует с ней термодатчину "шлифуемая поверхность – термодатчиный сектор", термо-э.д.с. которой пропорциональна температуре шлифуемой поверхности.

Термо-э.д.с. передается через вращающийся гироскопический токосъемник и используется в качестве сигнала, характеризующего величину температуры.

Электрический сигнал, представляющий температуру поверхности, имеет вид прямоугольных электрических импульсов частотой 100-200 Гц, амплитуда которых пропорциональна температуре шлифуемой поверхности. Обработка такого сигнала может быть произведена способами, хорошо известными в технике измерений.

Температура датчика во время контакта его с нагретой поверхностью, связывается с температурой этой поверхности через постоянный коэффициент, значение которого определяется теплофизическими свойствами шлифуемой поверхности и термодатчика.

Температура шлифуемой поверхности через температуру датчика определяется следующим выражением:

$$\theta_n = \theta_\theta \frac{\varepsilon_n + \varepsilon_\theta}{\varepsilon_\theta}, \quad (2)$$

где ε_n и ε_θ – коэффициенты тепловой активности шлифуемой поверхности и термодатчика.

Если рассчитать теперь выходное напряжение датчика при температуре поверхности, равной 100°C , то его величина выразится:

$$U_{\text{д}100^\circ\text{C}} = \theta_n \frac{\varepsilon_\theta}{\varepsilon_\theta + \varepsilon_n} \approx 0,395 U_{\text{д}100^\circ\text{C}}. \quad (3)$$

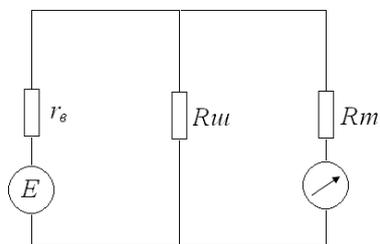


Рис. 2. Эквивалентная схема электрической цепи "термодатчик – токосъемное устройство – СОТС"

Если происходит шлифование с СОТС, то это также может создать погрешность, которую необходимо оценить. Эквивалентная схема электрической цепи "термодатчик – токосъемное устройство – СОТС" показана на рис. 2. Проникая в зону резания, СОТС электрически взаимодействует с датчиком, поэтому интересно оценить погрешность измерения круга-датчика при шлифовании с СОТС.

Эта погрешность измерения, очевидно, может быть оценена соотношением (рис. 2):

$$\Delta = \frac{E - U'}{I} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где E – термо-э.д.с. датчика; I – общий ток измерительной цепи; R_n – внутреннее сопротивление регистрирующего прибора; r' – внутреннее сопротивление термодатчика; U' – напряжение на входе регистрирующего прибора.

После преобразований соотношения (4) получено:

$$\Delta = \frac{I \cdot R_n + I \cdot r' - I \cdot R_n}{I(R_n + r')} \cdot 100\% = \frac{r'}{R_n + r'} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Если выбрать внутреннее нагрузки регистрирующего прибора в 1 кОм, то погрешность измерения составит $9,9 \cdot 10^{-3} \%$.

Для определения допустимой величины шунтирующего сопротивления СОТС можно рассмотреть схему (рис. 2), задаваясь предварительно погрешностью измерения не более 2 %.

С учетом данной схемы значение э.д.с. будет:

$$E = I \left(\frac{R_n \cdot R_{ш}}{R_n + R_{ш}} + r' \right). \quad (6)$$

Соответственно этому погрешность измерения составит:

$$U' = E - I \cdot r' \quad \text{или} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{I \cdot r'}{I \left(\frac{R_n \cdot R_{ш}}{R_n + R_{ш}} + r' \right)} = \frac{\Delta}{100}; \quad (8)$$

$$R_{ш} = \frac{R_n \cdot r' (1 - \delta)}{R_n \cdot \delta - r' (1 - \delta)}. \quad (9)$$

Таким образом, если задаться допустимым значением погрешности 2 %, то минимальная величина шунтирующего сопротивления определится величиной 5 Ом. Поскольку электрическое сопротивление всех без исключения охлаждающих жидкостей значительно больше – порядка 1-1,5 кОм, то можно утверждать, что СОТС практически не влияет на точность измерения температуры термодатчиком.

Проанализировав вышеперечисленные погрешности можно утверждать, что истинное значение температуры шлифуемой поверхности, при измерении ее кругом с термодатчиком однозначно определяется предложенными зависимостями. Средневероятностная суммарная погрешность составляет величину порядка 4,5 %.

Экспериментальные исследования были проведены как на реальных деталях - цилиндрических направляющих прессов, так и на образцах методом закладных микротермопар.

Экспериментальное исследование проводилось на плоскошлифовальных станках модели 3Г71 и на круглошлифовальных станках модели 3М150 круга-

ми из КНБ профиля ПП 250x15x75x5 зернистостью 12/160. 160/250. 250/400 на органических Б1 и КБ и керамической К связках, твердостью С2, М2, СМ2, 100% концентрации и абразивными кругами Э9А16-25СМ2К на сталях 12Х2Н3А, 20ХГНТР, 40ХГНТР. Результаты экспериментов и вид зарегистрированных импульсов от микротермопары показаны на рис. 3, 4 и 5.

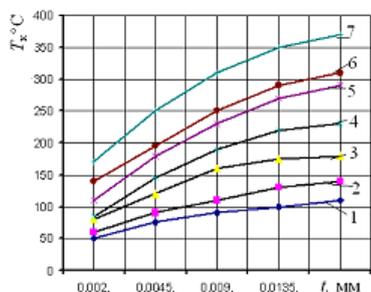


Рис. 3. Зависимость температуры поверхности T_k при шлифовании от глубины резания, свойств обрабатываемого материала и характеристики круга: 1 – сталь 45, 2 – сталь У8 (круг ЛО25С1К8-100 %); 3 – сталь 45, 4 – сталь У8 (круг ЛО12С1К8-100 %); 5 – сталь 12Х2Н4А, 6 – сталь 08Х18Н9Т, 7- сплав ВТ 8 (круг ЛО25С1К8-100 %)

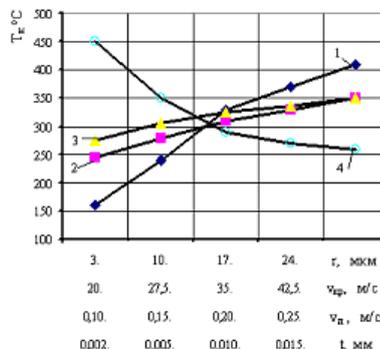


Рис. 4. Зависимость контактной температуры от факторов обработки $v_{кп} = 35$ м/с, $v_{ш} = 0,10$ м/с, $f = 0,01$ мм, $s = 2,5$ мм/зод стола:
1 — $T_k = f(v_{кп})$; 2 — $T_k = f(f)$; 3 — $T_k = f(v_{ш})$; 4 — $T_k = f(r)$

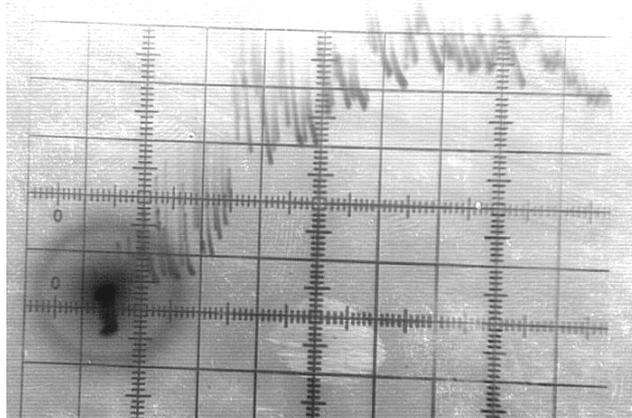


Рис. 5. Электрический импульс от микротермопары

Выводы. 1. Предложенный круг - термодатчик позволяет достаточно точно измерить температуру шлифования реальной детали.
2. Применение круга-термодатчика позволяет управлять температурным режимом шлифования непосредственно в процессе обработки.

Список литературы: 1. Кидин И. Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали / И.Н. Кидин. – М.: Металлургия, 1957. – 312 с. 2. Ключев А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Ключев. – М.: Энергия, 1973. – 392 с. 3. Корчак С. Н. Теория обрабатываемости сталей и сплавов при абразивной обработке / С.Н. Корчак // Вестник южно-уральского государственного университета. Сер. Машиностроение. – 2003. – № 9. – Вып. 4. – С. 82–90. 4. Лебедев В.Г. Механизм образования прижогов при шлифовании деталей из закаленных сталей / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко, С.А. Аль-Аджелат // Наукові нотатки. Науковий збірник ЛНТУ. – Луцьк, 2013. – Вип. 40. – С.141–144. 5. Лебедев В.Г. Улучшение качества поверхности при шлифовании напыленного слоя армированного карбида / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків:

НТУ “ХП”, 2007. – №1. – С. 144–148. **6.** Лебедев В.Г. Фазово-структурные превращения при шлифовании стальных деталей, поверхностный слой которых упрочнен закалкой / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко, С.А. Аль-Аджелат // Сб. мат. междунар. научн.-техн. конф. Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении. – Одесса – Киев: АТМ Украины, 2011. – С.130–133. **7.** Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 392 с. **8.** Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов / С.Г. Редько. – Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1962. – 231 с. **9.** Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с. **10.** Основы тепловых явлений при шлифовании деталей машин / А.В. Якимов и др. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 272 с.

УДК 621.923

УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця)

Гершиков И.В. (ЗАО “Азовский машиностроительный завод”, г. Бердянск)

A new simplified approach to the solution of the heat equation with the calculation of the temperature value is not significantly different from the values obtained based on the classical solution

Актуальной проблемой для технологии машиностроения является снижение тепловой напряженности процесса шлифования, одного из основных методов финишной обработки. Несмотря на большое количество работ в этом направлении [1 – 3], проблема бездефектной обработки при шлифовании в полной мере не решена: на обрабатываемых поверхностях образуются прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты, снижающие качество обработки. Это требует научно обоснованного выбора оптимальных режимов шлифования, характеристик шлифовальных кругов и других условий обработки, обеспечивающих снижение температуры шлифования. В связи с этим, целью работы является разработка теоретического подхода к определению температуры шлифования и условий ее уменьшения для обеспечения бездефектной обработки деталей машин.

В основу решения положена расчетная схема плоского шлифования, в которой снимаемый припуск представлен пакетом элементарных адиабатических стержней, которые в процессе обработки перерезаются шлифовальным кругом (рис. 1 [4]). Температура шлифования, исходя из такого представления процесса шлифования, определяется температурой, возникающей в момент выхода шлифовального круга из контакта с адиабатическим стержнем, т.е. в точке А. Время нагрева адиабатического стержня определяется временем его контакта с кругом.

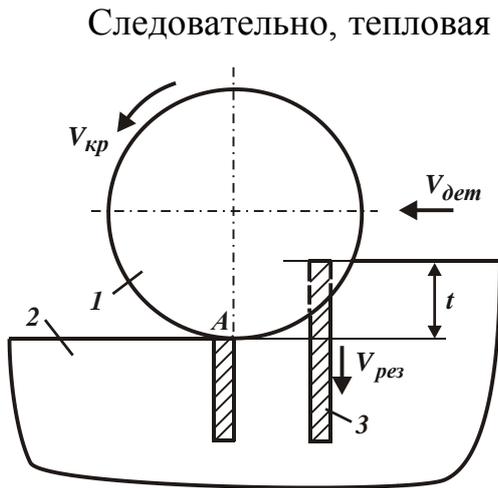


Рис. 1. Расчетная схема параметров плоского шлифования: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень

Следовательно, тепловая модель процесса шлифования может быть представлена следующим образом. На торец адиабатического стержня (в точке А) в течение времени τ действует тепловой поток плотностью q_0 . В результате теплопроводности материала адиабатического стержня теплота распространится за это время на некоторую глубину, которую также как и температуру в точке А адиабатического стержня необходимо определить.

В работе [5] приведено аналитическое решение данной задачи (распределения температуры θ вдоль полубесконечного адиабатического стержня), рассматривая уравнение теплопроводности в виде:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$\theta = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x^2}{4 \cdot a^2 \cdot \tau}} - \frac{q_0}{\lambda} \cdot x \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}} \right) \right], \quad (2)$$

где $a^2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, $\text{м}^2/\text{с}$; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – время обработки, с ; x – координата.

Недостатком данного решения является то, что на его основе нельзя установить конечное значение глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали Δx (она стремится к бесконечности).

В связи с этим, получим упрощенное решение, рассматривая уравнение (1) в виде:

$$\theta = a^2 \cdot \tau \cdot \frac{d^2 \theta}{dx^2}. \quad (3)$$

Такое упрощение возможно, поскольку при выводе дифференциального уравнения (1) первоначально было получено уравнение (3), а затем, принимая $\tau \rightarrow 0$ получено уравнение (1).

Решение дифференциального уравнения (3) общеизвестно:

$$\theta = C_1 \cdot e^{\alpha \cdot x} + C_2 \cdot e^{-\alpha \cdot x}, \quad (4)$$

где $\alpha = 1/(a \cdot \sqrt{\tau})$.

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяются из граничных условий:

$$\begin{cases} \theta(x = \Delta x) = 0; \\ q(x = 0) = q_0. \end{cases} \quad (5)$$

Подчиняя зависимость (4) граничным условиям (5), с учетом $q = -\lambda \cdot d\theta / dx$, получены выражения для определения постоянных интегрирования C_1 , C_2 и, соответственно, температуры шлифования:

$$C_1 = -\frac{q_0}{\lambda \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{(1 + e^{2\alpha \cdot \Delta x})}; \quad C_2 = \frac{q_0}{\lambda \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{(1 + e^{-2\alpha \cdot \Delta x})};$$

$$\theta = \frac{q_0}{\lambda \cdot \alpha} \cdot \left[\frac{e^{-\alpha \cdot x}}{(1 + e^{-2\alpha \cdot \Delta x})} - \frac{e^{\alpha \cdot x}}{(1 + e^{2\alpha \cdot \Delta x})} \right]. \quad (6)$$

Неизвестную величину Δx определим, подчиняя уравнение (6) граничному условию $q(x = \Delta x) = 0$. В результате получено следующее уравнение

$$\frac{1}{e^{\alpha \cdot \Delta x} \cdot (1 + e^{-2\alpha \cdot \Delta x})} = 0. \quad (7)$$

Очевидно, решением (7) является $\Delta x \rightarrow \infty$. Следовательно, как и в решении (2), в данном случае нельзя определить конечное значение глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали Δx . С учетом условия $\Delta x \rightarrow \infty$ зависимость (6) окончательно выразится:

$$\theta = a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x}{a \cdot \sqrt{\tau}}}. \quad (8)$$

Графически зависимости (2) и (8), преобразованные с учетом безразмерной величины $z = \frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}}$ к виду

$$\theta = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-z^2} - z \cdot (1 - \operatorname{erf} z) \right]; \quad (9)$$

$$\theta = a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-2z}, \quad (10)$$

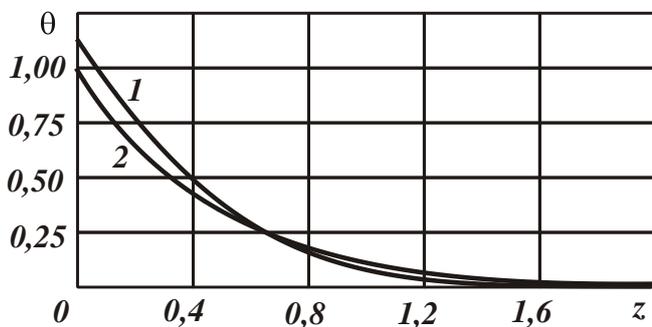


Рис. 2. Зависимость θ от z :
1 – расчет по зависимости (9);
2 – расчет по зависимости (10)

показаны на рис. 2 (при условии $a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} = 1$). Как видно, максимальные значения температуры шлифования θ_{max} , рассчитанные по зависимостям (9) и (10) при условии $z = 0$ и соответственно $x = 0$, отличаются незначительно (в пределах 11%). Это указывает на то, что с достаточной для практики точностью расчеты θ_{max} можно производить как

по зависимости (2), так и по (8), которая при условии $x = 0$ выражается:

$$\theta_{max} = a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda}. \quad (11)$$

Из зависимости (11) вытекает, что основными путями уменьшения максимальной температуры шлифования θ_{max} является уменьшение параметров q_0 и τ . Очевидно, плотность теплового потока q_0 в большей степени влияет на θ_{max} , чем время контакта круга с обрабатываемой деталью τ . Поэтому уменьшить θ_{max} можно, прежде всего, за счет уменьшения плотности теплового потока q_0 , которая зависит от параметров режима шлифования.

Если рассматривать параметры q_0 и τ независимыми, что имеет место, например, при шлифовании кругами с прерывистой рабочей поверхностью, то, уменьшая $\tau \rightarrow 0$, можно добиться существенного снижения максимальной температуры шлифования θ_{max} . Это подтверждается экспериментальными данными [1], согласно которым применение прерывистого шлифования позволяет до 2-х раз уменьшить температуру шлифования и тем самым повысить качество обработки без снижения производительности.

Рассмотрим случай шлифования, когда параметры q_0 и τ взаимосвязаны посредством режима резания. С учетом известных соотношений [6]: $q_0 = \sigma \cdot V_{рез}$ и $\tau = t / V_{рез}$ зависимость (11) представим в виде:

$$\theta_{max} = \frac{a \cdot \sigma}{\lambda} \cdot \sqrt{t \cdot V_{рез}}, \quad (12)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $V_{рез}$ – скорость перерезания адиабатического стержня (рис. 1), м/с; t – глубина шлифования, м.

Согласно зависимости (12), уменьшить θ_{max} можно уменьшением параметров σ , $V_{рез}$ и t . Поскольку с уменьшением $V_{рез}$ и t уменьшается производительность обработки (что неэффективно), то основным путем уменьшения θ_{max} является снижение условного напряжения резания σ за счет повышения режущей способности круга и снижения интенсивности трения в зоне шлифования. В работе [6] установлено $V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{t / D_{кр}}$, где $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $D_{кр}$ – диаметр круга, м. Тогда с учетом удельной производительности обработки $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$ зависимость (12) выразится:

$$\theta_{max} = \frac{a \cdot \sigma}{\lambda} \cdot \sqrt{Q_{уд}} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{кр}}}. \quad (13)$$

Из зависимости (13) следует, что уменьшить θ_{max} при обеспечении заданной $Q_{уд}$ можно уменьшением t и увеличением $V_{дет}$.

Выводы. 1. Предложено упрощенное решение уравнения теплопроводности применительно к расчету температуры шлифования, позволяющее полу-

чить значения температуры, незначительно отличающиеся от значений, установленных на основе классического решения (расхождение в пределах 11%). Это открывает новые возможности расчета и анализа по упрощенным зависимостям температуры шлифования, определения условий ее уменьшения.

2. Теоретически установлено, что основными путями уменьшения температуры шлифования являются снижение условного напряжения резания за счет повышения режущей способности круга и снижения интенсивности трения в зоне шлифования, а также применение многопроходного шлифования.

3. Показано, что основным недостатком полученного упрощенного решения, также как и классического решения, является невозможность определения конечной глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали. Это предполагает необходимость дальнейшего поиска новых решений в этом направлении.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 2. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 127 с. 3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 5. Чупров И.Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа: Учеб. пособие / И.Ф. Чупров, Е.А. Канева, А.А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2004. – 128 с. 6. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Труды 13-й Междунар. научн.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Х.: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.

УДК 621.952

СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ О СОСТОЯНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Лищенко Н.В., канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

Ларшин В.П., докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

The research and recommendations on the synthesis of information signals for cutting vibrodiagnostics system on CNC machines are given

Разработка систем технологической диагностики относится к числу актуальных задач для станков с ЧПУ, работающих преимущественно в автоматическом режиме. Причины возникновения вибраций при обработке резанием многочисленны, их анализу посвящено большое количество работ. Многие из указанных причин обусловлены конкретными условиями обработки. Имеющиеся в

литературе и наши исследования [1] показали, что к числу условий, оказывающих влияние на виброакустические колебания в технологической системе, относятся следующие: геометрическая конфигурация обрабатываемой заготовки, обуславливающая переменную статическую жесткость на различных участках обработки; способ закрепления заготовки при выбранной схеме ее установки; режимы резания; свойства режущего инструмента; физическая природа первичного преобразователя сигнала (виброускорение, виброскорость, виброперемещение, звуковое давление и т.п.); место установки первичного преобразователя (в подсистеме инструмента или в подсистеме заготовки).

Поэтому разрабатываемая система технологической диагностики потенциально должна соответствовать непредсказуемым индивидуальным условиям протекания технологического процесса. А это возможно, если выбранные или специально сформированные сигналы, несущую информацию о состоянии технологической системы, адекватно (с необходимой чувствительностью и надежностью) отражают это состояние. Технологическая задача адекватной виброакустической диагностики усложняется тем, что невозможно разместить вибродатчики непосредственно в зоне резания, где формируется текущая микро- и макрогеометрия обрабатываемой поверхности. Однако отличительной чертой современной технологии изготовления вибродатчиков является их появление на рынке в виде микрочипов (капсул), которые могут быть интегрированы в соответствующие электрические схемы формирования сигналов. Как правило, это вибродатчики типа акселерометров на основе пьезокристаллов (в дальнейшем вибродатчики) или электретные конденсаторные микрофоны на основе переменного электрического конденсатора (в дальнейшем звуковые датчики) [2]. Прогресс в аппаратной части измерительных систем (hardware) связан с появлением соответствующего программного обеспечения (software) и появлением компьютерных систем сбора данных (computer aided data acquisition), имеющих опции по выбору измерительных сигналов для характеристики состояния технологической системы.

При проведении виброакустического исследования на обрабатывающем центре мод. 500/V5 использованы датчики виброускорения типа AP 2019 и звуковой датчик – измерительный микрофон SPL Lab USB RTA meter (данные для звукового датчика в статью не включены). Например, при фрезеровании концевой фрезой участков 1, 2 и 3 заготовки, имеющих переменную жесткость, когда вибродатчик находится на заготовке, сигналы среднеквадратического отклонения **RMS** и размаха **Range** являются похожими (рис.1).

Однако в литературе нет соответствующей методики получения таких сигналов для технологической диагностики. Поэтому целью данной статьи является разработка такой методики на основе практического ознакомления с имеющимися опциями выбора измерительных сигналов и разработка способа формирования таких сигналов на основе имеющегося математического обеспечения в системе сбора данных, на примере системы сбора данных NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW.

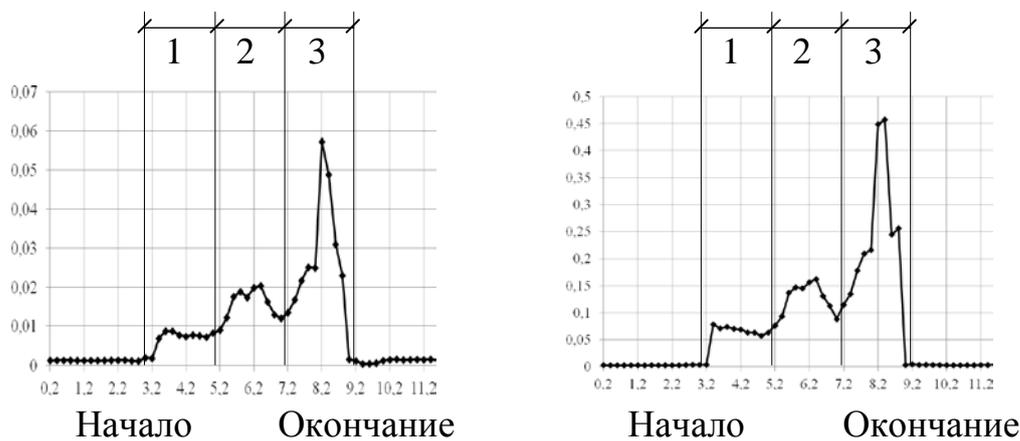


Рис. 1. Изменение во времени фрезерования среднеквадратического отклонения (**RMS**, слева) и размаха (**Range**, справа) при фрезеровании заготовки с переменной по длине обработки статической жесткостью

В рассматриваемом случае протяженность по времени между отдельными (дискретными) отсчетами нового информационного сигнала (**RMS** или **Range**) равна временному интервалу 0,2 с и характеризует разрешающую способность информационного сигнала по времени для оценки состояния технологической системы. Учитывая, что длительность технологических переходов резания при обработке заготовок на металлорежущих станках с ЧПУ составляет гораздо большее время (от нескольких секунд до нескольких минут и более), можно заключить, что указанный шаг дискретизации по времени (0,2 секунды) является приемлемым для систем технологической диагностики. При частоте дискретизации первичного сигнала датчика 50 кГц период снятия одного отсчета аналогового сигнала составляет $0,2 \cdot 10^{-4}$ с. Следовательно, временной интервал 0,2 с передается последовательностью чисел, состоящей из $N = 0,2 / (0,2 \cdot 10^{-4}) = 10\ 000 = 10^4$ отсчетов. Все эти 10^4 отсчетов заменяются одной точкой на графике изменения соответствующего значения параметра сигнала во времени (рис.1). Следующая точка информационного сигнала появляется через интервал 0,2 с и так далее. В результате имеется некоторая дискретная по природе последовательность синтезированных уровней – новый информационный сигнал, например, **RMS** или **Range**.

По мере обработки заготовки на станке происходит изменение параметров состояния технологической системы во времени, приводящее к появлению погрешностей обработки и изменению качества поверхности. Причиной такого изменения может быть всякая нестабильность параметров элементов технологической системы, например, затупление режущего инструмента, переменная статическая жесткость заготовки (рис.1), колебание припуска и т.п. Например, сигналы **RMS** и **Range**, дискретные отсчеты которых получены на интервале времени $T = 0,2$ с, закономерно изменяются в зависимости от времени фрезерования по мере изменения статической жесткости заготовки в ее продольном

направлении, когда фреза последовательно проходит участки высокой (участок 1), средней (участок 2) и низкой (участок 3) жесткости заготовки (рис. 1).

Аналогичным образом переменная статическая жесткость отражается в информационных сигналах другой физической природы, которые можно сформировать с помощью блока **Configure Spectral Measurements**. Последовательность формирования таких сигналов следующая. Временную последовательность первичного сигнала виброускорения, состоящую из 10^4 отсчетов на указанном выше интервале 0,2 секунды преобразуют в частотный спектр (5000 отсчетов) с помощью опций **Power Spectrum** и **Power Spectral Density**. Затем в блоке **Configure Statistics [Statistics]** используют опцию **Sum of Values** для подсчета суммы ординат всех 5000 отсчетов параметров **Power Spectrum** и **Power Spectral Density**. Эта сумма пропорциональна площади под кривой спектральной мощности (**Power Spectrum**) или кривой спектральной плотности мощности (**Power Spectral Density**). Отличие от геометрической площади (не считая погрешности квантования сигнала на интервале приращения частоты 5 Гц) заключается в отсутствии множителя 5 Гц перед сформированными суммами в опции **Sum of Values** в блоке **Configure Statistics [Statistics]**. При этом каждому интервалу времени 0,2 секунды, содержащему 10^4 отсчетов первичного сигнала виброускорения, соответствует одно значение нового информационного сигнала – площади под кривой спектральной мощности (**Power Spectrum**) или площади под кривой спектральной плотности мощности (**Power Spectral Density**). Последовательная совокупность этих площадей, расположенная по оси времени фрезерования, образует новые информационные сигналы для диагностики состояния технологической системы (рис. 2).

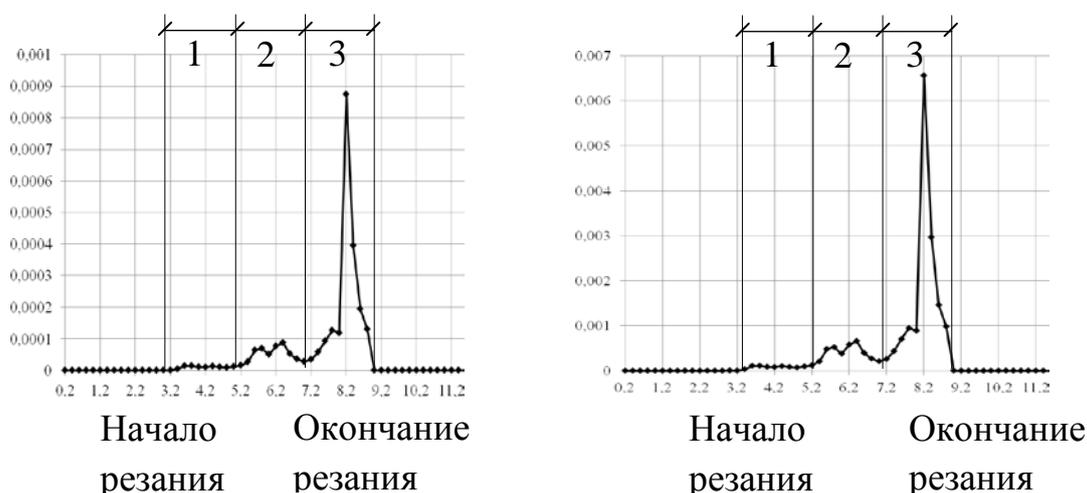


Рис.2. Изменение во времени фрезерования площади под кривой спектральной мощности (**Power Spectrum**, слева) и кривой спектральной плотности мощности (**Power Spectral Density**, справа)

Сравнение данных на рисунках 1 и 2 показывает не только их подобие, но также некоторое отличие в характеристиках сигналов, относящихся одному и тому же переходу фрезерования. Например, по сигналам, характеризующим

площади под спектрограммами (рис.2) не четко выявляются моменты перехода из режима холостого хода станка в режим резания (см. «Начало резания» на рисунках 1 и 2).

Выводы: В спектральных оценках типа **Power Spectrum** и **Power Spectral Density** более высокие по амплитуде сигналы оказываются дополнительно завышенными. Степень завышения можно оценить по разности между наименьшими и наибольшими уровнями этих сигналов или по отношению максимального и минимального их значений.

Список литературы: 1. Ларшин В.П. Исследование виброустойчивости инструмента при сверлении отверстий малого диаметра / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, Р.Р. Башаров // Межвуз. науч. сб. «Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий». – Уфа: УГАТУ, 2013. – С.20-25.
2. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Вып. 1 / С.М. Рюмик. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 356 с.

УДК 621.952

ТЕОРИЯ СИГНАЛОВ О СОСТОЯНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕЗАНИЯ

Лищенко Н.В., канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

Ларшин В.П., докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

The theoretical propositions on the relationship between synthesized signals in the NI-LabVIEW system for process diagnostics on CNC machines are given

Принцип получения информации о состоянии технологической системы заключается в анализе и оценке характеристик измерительных сигналов во временной и частотной области их изменения. Например, сигнал виброускорения можно наблюдать в функции времени и одновременно в виде частотного спектра. Современные измерительные системы позволяют в режиме реального времени синтезировать новые информационные сигналы, которые являются результатом математической обработки цифровых данных.

Современная измерительная система сбора данных NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW имеет опции для формирования информационных сигналов из первичных временных сигналов датчиков. Эти опции можно выбрать в меню **Functions** по схеме **Functions** → **Express** → **Signal Analysis**. В категории **Signal Analysis** использованы два блока: блок **Configure Statistics [Statistics]** и блок **Configure Spectral Measurements**. Блок **Configure Statistics [Statistics]** включает характеристики сигнала во временной области его изменения – **Range** и **Root Mean Square (RMS)**. Блок **Configure Spectral**

Measurements включает спектральные характеристики сигнала в частотной области его изменения – **Magnitude Peak, Power Spectrum, Power Spectral Density**.

Настройка блоков компьютерной системы сбора данных NI-DAQmx выполнена следующим образом. Текущий первичный сигнал, например сигнал виброускорения, поступает в систему в виде выборки данных длиной $T = 0,2$ с. На этом временном интервале определяют, например, такие характеристики сигнала как **Range** и **RMS**. Указанный временной интервал (0,2 с) изменения сигнала в свою очередь получен путем дискретизации первичного аналогового сигнала виброускорения с частотой выборки (Sample Rate) 50 кГц. В соответствии с известной теоремой Котельникова такая частота выборки позволяет выявлять частотный гармонический состав первичного сигнала вплоть до гармоники с максимальной частотой 25 кГц. В англоязычной литературе аналогичная теорема известна как критерий Найквиста и требуемую частоту дискретизации называют частотой Найквиста [1]. Таким образом, указанный временной интервал (0,2 с) содержит в себе данные для формирования новых информационных сигналов, численные значения которых представляют собой дискретную последовательность новых информационных параметров, например, таких как **Range** или **RMS**.

Для сравнительной оценки информативности новых сформированных сигналов в компьютерной системе сбора данных NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW дополнительно исследован информационный сигнал, характеризующий площадь под амплитудной спектрограммой первичного сигнала вибродатчика – **Magnitude (peak)**.

До сих пор исследованию подлежали информационные сигналы, имеющиеся в опциях системы сбора данных NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW. К числу таких опций относится также амплитудный спектр первичного сигнала – **Magnitude (peak)** и **Magnitude (RMS)**. Эти опции находятся в блоке **Configure Spectral Measurements**. В размерность спектральной плотности $S(\omega)$ или $S(f)$, при $\omega = 2\pi f$, входит размерность амплитуды сигнала в первой степени. Поэтому функцию спектральной плотности $S(f)$ называют амплитудным спектром [2]. В блоке **Configure Spectral Measurements** эту функцию называют **Magnitude (peak)**. В более узком смысле амплитудный спектр – это модуль функции спектральной плотности, т.е. $|S(f)|$. Для того, чтобы установить связь между двумя видами спектров – **Magnitude (peak)** и **Power Spectrum** – можно воспользоваться известной теоремой о спектре произведения двух сигналов: спектр произведения сигналов $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ равен свертке их спектров, т.е.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1(t) \varphi_2(t) e^{-j2\pi ft} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} S_1(f') S_2(f - f') df' \quad (1)$$

Полагая в уравнении (1) $f = 0$ и $\varphi_1(t) = \varphi_2(t) = \varphi(t)$, получим [2]:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi^2(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |S(f)|^2 df \quad (2)$$

Выражение (2) известно как теорема Парсеваля (Parseval's theorem) или энергетическая теорема Рэяли (Rayleigh's energy theorem). Эта теорема доказывается путем использования обратного преобразования Фурье и изменения порядка интегрирования [2]. Здесь важно отметить, что спектр энергии совершенно не зависит от спектра фаз, т.е. определяется исключительно квадратом спектра амплитуд сигнала, например сигнала виброускорения $\varphi(t)$.

Переход от спектра энергии по выражению (2) к спектру мощности **Power Spectrum** может быть выполнен исходя из следующих соображений. Если известно, что функция $\varphi(t)$ (т.е. первичный сигнал виброускорения) рассматривается только на ограниченном промежутке времени, например, на указанном выше интервале времени $T = 0,2$ с, то для средней мощности сигнала P (**Power Spectrum**) на этом интервале времени можно записать выражение [2]:

$$P = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} |S(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|S(f)|^2}{T} df \quad (3)$$

Изменение площади под спектрограммой амплитудного спектра в зависимости от времени фрезерования последовательно через каждые 0,2 с также может быть информационным сигналом, характеризующим состояние технологической системы (рисунок).

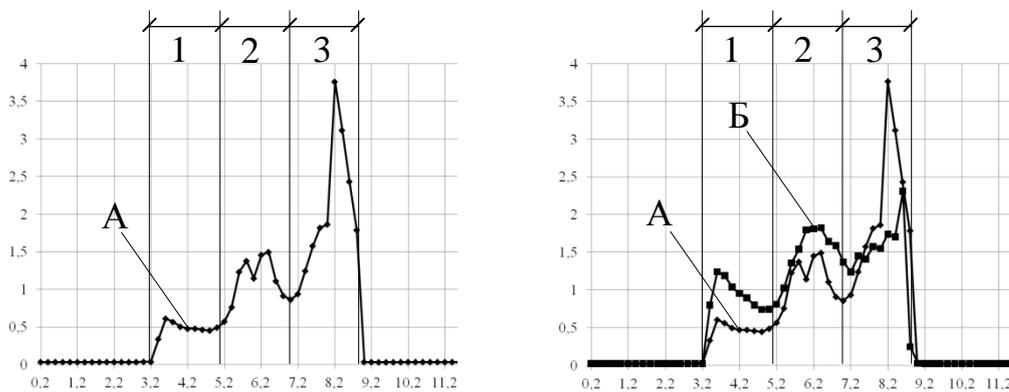


Рисунок. Изменение во времени фрезерования площади под кривой амплитудного спектра при обработке тонкой (А) и толстой (Б) стенок заготовки с переменной жесткостью (справа сигналы совмещены)

Величина этого сигнала для каждого интервала времени $T = 0,2$ с может быть представлена выражением:

$$\int_0^{f_{\max}} |S(f)| df \approx \sum_{i=1}^n S(f_i) \Delta f = \Delta f \sum_{i=1}^n S(f_i) \quad (4)$$

Последовательность отсчетов, полученных по выражению (4) при $n = 5000$, $\Delta f = 5$ Гц, $f_{\max} = 25$ кГц и расположенных по оси времени фрезерова-

ния (с дискретностью $T = 0,2$ с), представляет собой информационный сигнал, показанный на рисунке. Этот сигнал использован для разработки системы технологической диагностики по критериям стойкости режущего инструмента и качества поверхности.

Выводы: Установлены теоретические взаимоотношения между информационными сигналами с амплитудной характеристикой типа **Magnitude (peak)** и аналогичными сигналами, построенными на основе спектра энергии и мощности типа **Power Spectrum** и **Power Spectral Density**. Показано, что спектр энергии совершенно не зависит от спектра фаз, т.е. определяется исключительно квадратом спектра амплитуд сигнала, например, сигнала виброускорения или сигнала звукового датчика.

Список литературы: 1. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2009. – 656 с. 2. Гутников, В.С. Фильтрация измерительных сигналов / В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 192 с.

УДК 621.952

ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ С ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

Лищенко Н.В., канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

Ларшин В.П., докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

The results of experimental studies to establish the effect of milling cutter rotation frequency and workpiece variable stiffness on vibro-acoustic oscillations in the milling process system are given

Ранее рассмотрены способы формирования информационных сигналов, которые можно использовать для диагностики состояния технологической системы резания при оснащении ее измерительной системой NI-DAQmax с программным обеспечением NI-LabVIEW [1]. В данной статье используется информационный сигнал, характеризующий математическую площадь под амплитудной спектрограммой первичного сигнала датчиков, которые встроены в технологическую систему. Рассмотрено два вида таких датчиков: вибродатчик типа AP2019 и звуковой датчик – измерительный микрофон SPL Lab USB RTA meter. Для установления влияния геометрической конфигурации обрабатываемой заготовки была использована заготовка с участками, имеющими переменную статическую жесткость по мере перемещения концевой фрезы вдоль обрабатываемой поверхности. Заготовка содержит участки, имеющие переменную статическую жесткость: высокую на участке 1, среднюю на участке 2 и низкую на участке 3 (рис. 1).

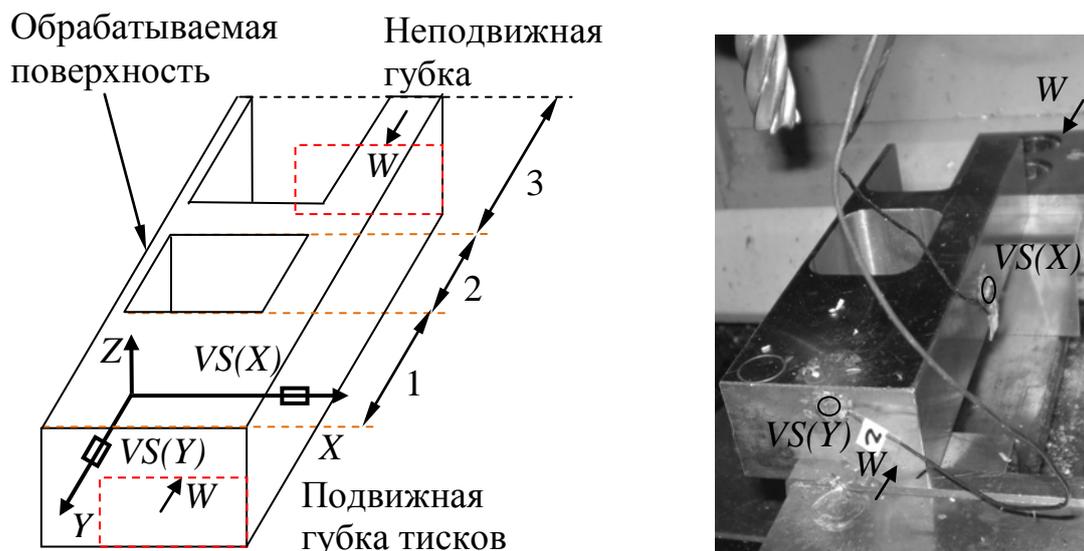


Рис. 1. Конфигурация заготовки и способ установки вибродатчиков (слева) в технологической системе станка мод 500V/5 (справа)

Для определения влияния способа закрепления заготовки на виброколебания ее закрепляли по-разному: за торцы тонкой и за торцы толстой стенки. На рис. 1 заготовка закреплена за торцы тонкой стенки (на рис.1 сила закрепления W). Датчики виброускорения AP 2019 можно расположить в подсистеме заготовки, например, на необрабатываемых её гранях (рис. 1) или в подсистеме шпинделя, например, на неподвижном торце шпиндельного узла (рис. 2).

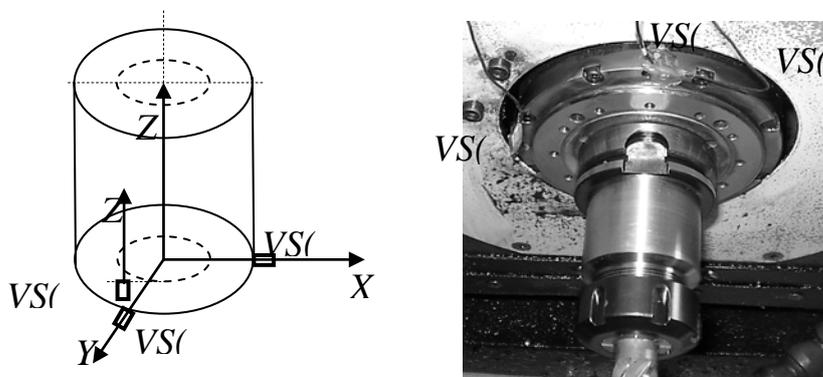
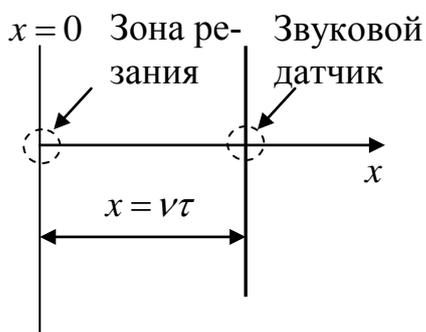


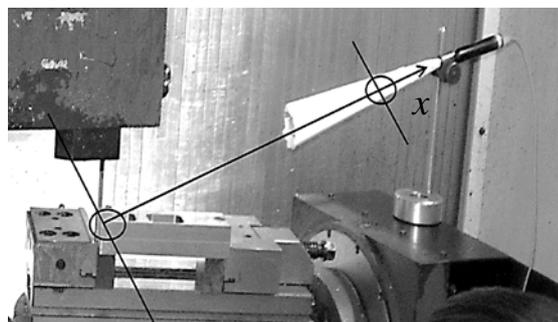
Рис. 2. Схема установки датчиков виброускорения AP 2019 (слева) и ее реализация (справа) на неподвижном торце шпиндельного узла обрабатывающего центра мод. 500V/5

Измерительный микрофон устанавливали на расстоянии от зоны резания, превышающем габаритные размеры заготовки (рис. 3). Для сравнительной характеристики эффективности информационных сигналов их формировали при одних и тех же условиях обработки указанной призматической заготовки, имеющей переменную статическую жесткость. Затем исследовали влияние условий

обработки на характеристики выбранных информационных сигналов. Например, на первом этапе измеряли параметры виброакустических колебаний при подаче $S_z = 0,1$ мм/зуб, глубине резания $t = 0,5$ мм. Режущий инструмент: фреза концевая $\varnothing 18$ мм из быстрорежущей стали Р6М5 с числом зубьев $z = 6$. Формировали информационные сигналы от вибродатчика и звукового датчика (рис. 4) при частоте вращения фрезы 3800 мин^{-1} (кривая А), 1900 мин^{-1} (кривая Б) и 900 мин^{-1} (кривая В).



Поверхность
волны при
 $x = v\tau$



Зона ре- Поверхность Звуковой
зания волны при датчик
 $x = v\tau$

Рис. 3. Схема распространения звука (слева) и ее реализация на обрабатывающем центре 500V/5 (справа) на основе использования измерительного микрофона

На рис. 4 видно, что уровень информационных сигналов от звукового датчика и вибродатчиков возрастает с увеличением частоты вращения шпинделя. При этом по характеру изменения сигналы от звукового датчика (рис. 4, а) подобны сигналам вибродатчиков (рис. 4, б и в). При этом первичная природа сигналов звукового датчика и вибродатчиков различается. Вибродатчик (акселерометр) вырабатывает сигнал, несущий информацию о величине механического ускорения, а звуковой датчик вырабатывает сигнал, пропорциональный удельной мощности звуковой волны [2]. Определяя влияние места расположения вибродатчика, т.е. на шпиндельном узле или заготовке (рис. 4, б и в), видим, что чувствительность вибродатчика на заготовке более чем в 3 раза выше.

При изучении влияния способа закрепления заготовки, имеющей переменную жесткость, на характер и величину вибросигнала при установке вибродатчика только на заготовке (в этом случае чувствительность датчика выше, чем при установке его на шпиндельном узле) выяснилось следующее. Информационный сигнал при фрезеровании тонкой (т.е. более податливой) стенки заготовки меньше в 1,2...1,8 раза, чем при фрезеровании толстой стенки, но при закреплении заготовки за тонкую стенку (рис. 5). Рост уровня информационного сигнала при фрезеровании толстой стенки вызван в этом случае не столько вибрациями этой стенки, сколько вибрациями всей заготовки в связи с уменьшением ее общей статической жесткости.

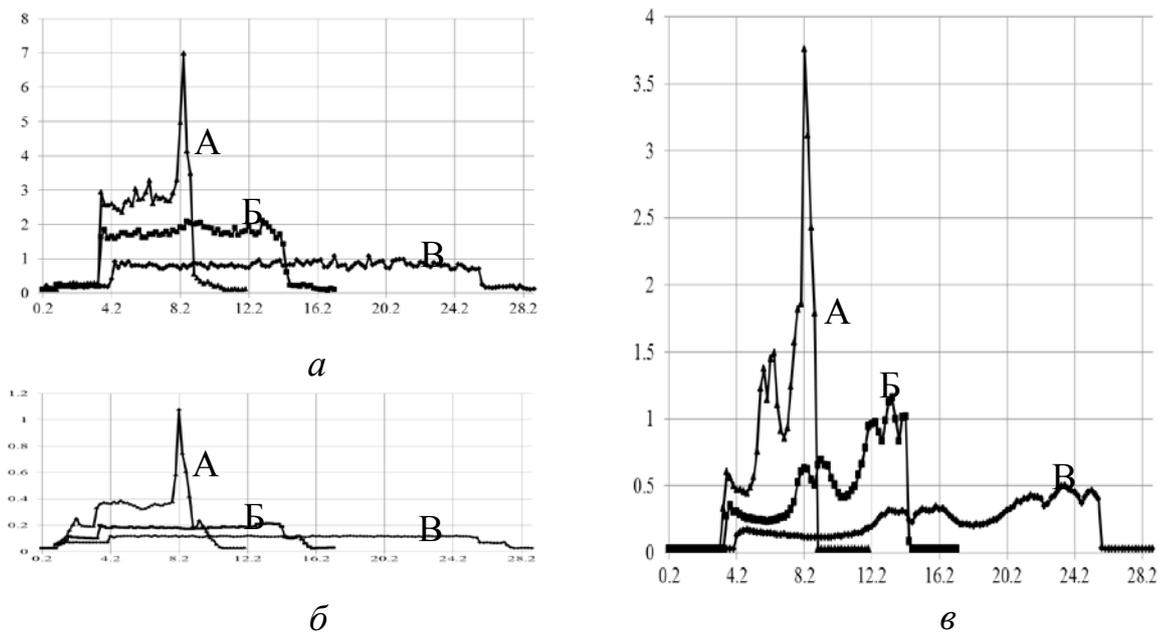


Рис. 4. Изменение во времени фрезерования информационных сигналов от звукового датчика (*а*) и вибродатчиков, установленных по координате *X* станка на шпиндельном узле (*б*) и на заготовке (*в*) при фрезеровании тонкой стороны заготовки

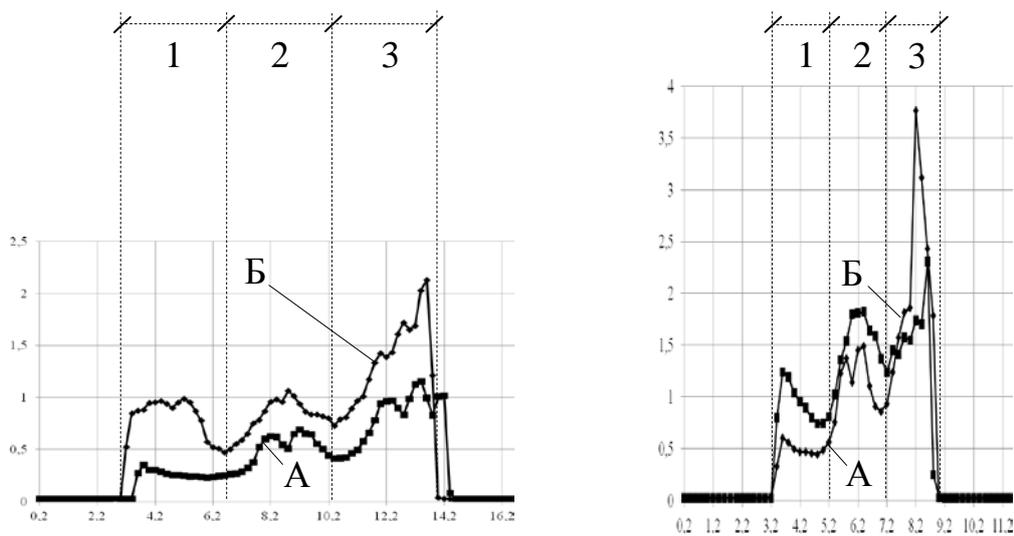


Рис. 5. Изменение информационного сигнала (Magnitude Peak) от времени фрезерования для двух сторон заготовки – тонкой стенки А и толстой стенки Б при частоте вращения фрезы 1900 мин^{-1} (слева) и 3800 мин^{-1} (справа)

Насколько различным является отражение переменной жесткости заготовки и способа ее закрепления в информационных сигналах различной природы (вибродатчик и звуковой датчик) видно из рис.6. Характер кривых А и Б, полученных от вибродатчика и звукового датчика является подобным, но на участке средней жесткости заготовки (участок 2 на рис. 6, справа) микрофон не выявляет различие, которое выявляет вибродатчик (участок 2 на рис. 6, слева).

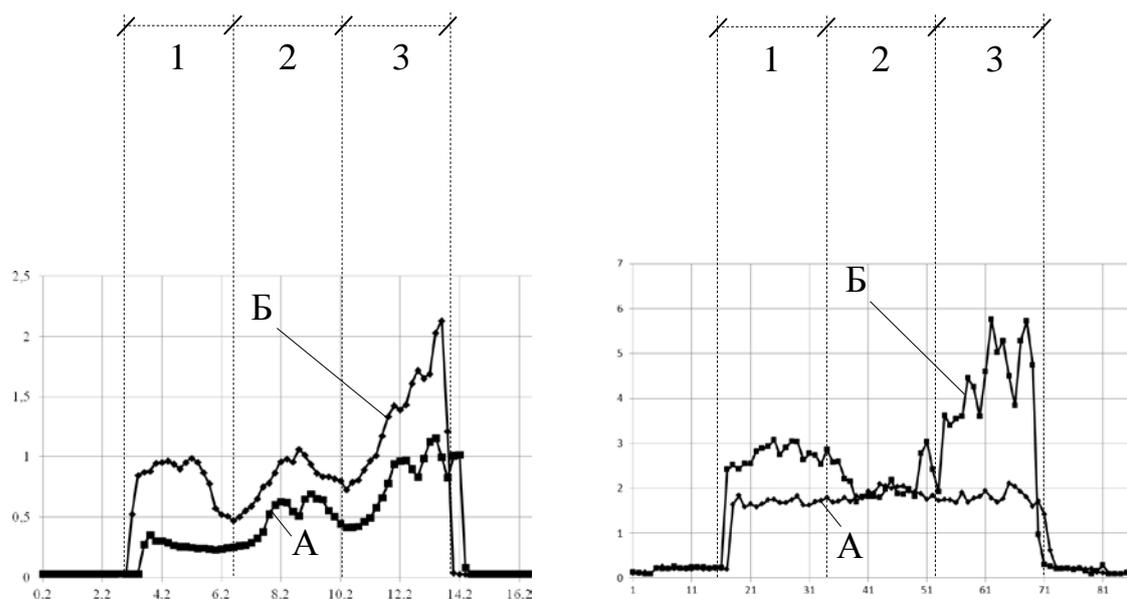


Рис. 6. Изменение информационного сигнала – площади под кривой спектрограммы **Magnitude (peak)** – в зависимости от времени фрезерования для двух сторон – тонкой А и толстой Б при 1900 мин^{-1} для вибродатчика (слева) и звукового датчика (справа)

Выводы: 1. При прочих равных условиях (переменная жесткость заготовки, разные способы ее закрепления и переменная частота вращения шпинделя) характер изменения информационного сигнала, поступающего от звукового датчика подобен таковому, поступающему от вибродатчиков. Следовательно, звуковой датчик (измерительный микрофон) можно применять для диагностики динамического состояния технологической системы резания, например, при отсутствии вибродатчиков или в связи с трудностями их установки и обслуживания.

2. Чувствительность вибродатчика, установленного на заготовке более чем в 3 раза превышает чувствительность такого же датчика, установленного на шпиндельном узле, что подтверждает существенное отличие динамических свойств элементов в подсистемах шпинделя и заготовки.

3. Способ закрепления заготовки оказывает существенное влияние на уровень информационного сигнала; уменьшение общей жесткости заготовки в этом случае сильнее отражается в виброакустическом сигнале (в 1,2...1,8 раз), чем уменьшение жесткости фрезеруемой стенки.

Список литературы: 1. LabVIEW. Руководство по акустическому и вибрационному анализу / Всемирная техническая поддержка и информация о продуктах ni.com. Штаб-квартира корпорации National Instruments 11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA. – 168 с. 2. Larshin V.P. Cutting system diagnostics on the basis of sound sensor / V.P. Larshin, N.V. Lishchenko // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении. – К.: АТМ Украины, 2014. – С.79-83.

ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Лищенко Н.В., канд. техн. наук

(Одесская национальная академия пищевых технологий)

Ларшин В.П., докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

A description of the small diameter holes drilling diagnostics system, developed on the basis of National Instruments' hardware (NI-DAQmax) and software (NI-LabVIEW) is given.

Технологическая операция сверления отверстий малого диаметра (до 5 мм) относится к числу наиболее распространенных в технологии приборостроения, в том числе при сверлении композиционных и других труднообрабатываемых материалов. Основные трудности обработки точных отверстий вызваны невозможностью наблюдения за состоянием режущих кромок инструмента, которые в напряженных условиях стружкообразования требуют более тщательной смазки и охлаждения. Кроме того, удаление стружки производится по каналам очень малого диаметра, так как высокие требования к жесткости и точному направлению сверла сводят к минимуму сечение стружкоотводных каналов. Для того, чтобы понять многочисленные явления, возникающие при деформации металла в стесненных условиях, изучают характер протекания каждого явления отдельно, рассматривают взаимосвязь явлений и их специфику в условиях сверления, растачивания и развертывания отверстий [1]. При этом известно, что наложение на основное механическое воздействие сверла двух дополнительных воздействий – вибрации и СОЖ обеспечивает существенное увеличение производительности и качества обработки [2]. Другое перспективное направление повышения эффективности сверления отверстий малого диаметра – диагностика технологической системы сверления. Ее производят по ряду параметров, изменяющихся в процессе обработки. Это направление особенно актуально для станков с ЧПУ, работающих в автоматическом цикле. Однако отсутствие встроенных измерительных систем сдерживает развитие этого направления, не позволяет реализовать условия безлюдной обработки.

Целью данной статьи является разработка способа и устройства для вибродиагностики состояния технологической системы сверления на основе выявления диагностического признака, сигнализирующего о необходимости автоматической смены сверла до его возможной поломки.

Поисковые исследования проведены на станке мод. 500V/5 (обрабатывающий центр) с системой ЧПУ SIEMENS SINUMERIC 840 D (номинальная и максимальная частоты вращения шпинделя 1500 и 8000 мин⁻¹). Условия проведения экспериментов: спиральное сверло диаметром 2,85 и 4,7 мм (сталь P18),

глубина сверления 8 мм, призматическая заготовка с габаритными размерами 298x110x10 мм (сталь 14X17H2). Использовалась оправка HSK 63-2/20-100 с цанговым зажимом. Режимы сверления: частота вращения шпинделя: 250, 500 и 600 мин⁻¹; осевая подача 0,06 мм/об. Указанную осевую подачу обеспечивали программно, устанавливая минутную подачу 15, 30 и 36 мм/мин, соответственно, в указанной системе ЧПУ. Для уменьшения времени испытаний сверление производили без подачи технологической смазки в зону резания. Каждый опыт проводили не менее 3-х раз, причем количество повторений опытов зависело от сопоставимости получаемых результатов.

Измерительный комплекс автоматизированной системы научных исследований представляет собой модульную USB систему типа NI-DAQmx (аппаратная часть) и NI-LabVIEW (программная часть), которая содержит: аналого-цифровое синхронизирующее устройство NI USB-9233, многоканальное шасси NI cDAQ-9172, подключенное к промышленному персональному компьютеру. С помощью этого компьютера и программной среды LabVIEW 8.5 выполнены настройки применительно к вибродатчикам типа AP 2019 со следующими характеристиками: размер датчика Ø3 x 3,6 мм, частотный диапазон 0,5...30000 Гц, чувствительность 0,5 мВ/г ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$) или 0,051 мВ/(м/с²).

Датчики установлены на неподвижном торце узла шпинделя станка по координате Z и на его неподвижных боковых сторонах по координатам X и Y, и подключены к многоканальному шасси измерительной системы (рис. 1).



Рис. 1. Установка вибродатчиков AP 2019 на неподвижном торце шпиндельного узла станка мод.500V/5 (слева) и их подключение к многоканальному шасси NI cDAQ-9172 (справа)

Все действия по настройке и работе измерительного комплекса, включая выбор частоты выборки сигналов, управляются прикладными программами LabVIEW 8.5, предварительно составленными в виде блок-схем из самостоятельных функциональных программируемых блоков, которые в совокупности образуют программируемый виртуальный прибор – систему диагностики (рис. 2).

Выходные сигналы первичных датчиков, установленных по осям X, Y, Z станка, поступают в блоки **Select Signals**. Эти блоки осуществляют буферизацию сигналов и формирование дискретных выборок длительностью 0,2 с. Выходные сигналы датчиков поступают на соответствующие блоки **Spectral Measurements**, которые осуществляют процедуру быстрого преобразования

Фурье (БПФ), преобразуя временное представление сигналов на интервале времени 0,2 с (10 000 отсчетов с частотой 50 кГц) в соответствующее частотное представление (5000 отсчетов). Полученные результаты в виде спектрограмм выведены на переднюю панель виртуального прибора с помощью блоков индикации **Waveform Graph** (рис. 3).

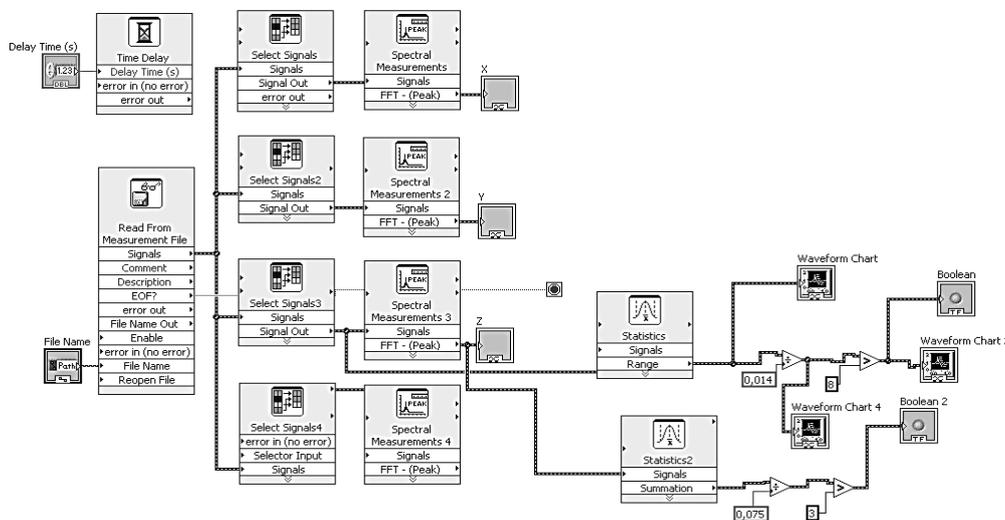


Рис. 2. Блок-схема виртуального прибора для диагностики технологической системы сверления в программе NI-LabVIEW

Для построения системы диагностики использован один из трех каналов X, Y, Z, отличающийся наибольшей чувствительностью к изменению первичного сигнала – канал Z (рис. 3).

Информационный диагностический сигнал формируют в виде последовательности отсчетов какой-либо оценки сигнала на интервале времени его изменения (0,2 с). Предложено использовать две оценки этого сигнала: разность между максимальным и минимальным значениями временного сигнала на интервале времени 0,2 с, т.е. **Range** (рис.4, сверху), и площадь под кривой амплитудной спектрограммы (рис. 4, снизу), т.е. **Magnitude (peak)**.

Эту площадь получают путем суммирования ординат 5000 отсчетов с помощью блока **Summation**. Отличие полученной таким образом суммы от математической площади заключается в отсутствии множителя 5 Гц, который является шагом дискретизации по оси частот в частотном представлении сигнала. Текущий информационный сигнал **Range** (рис.4, сверху) поступает в блок деления **Divide**, на второй вход которого поступает базовый уровень сигнала **Range** (рис.2). В качестве этого базового уровня принято среднее значение диагностического признака, характеризующего величину размаха **Range** на фиксированном участке времени после включения шпинделя станка. Например, на интервале времени врезания, в течение которого сверло проходит «путь врезания». В данном случае указанный «путь врезания» равен 2 мм. На выходе блока деления **Divide** получают безразмерный текущий информационный сигнал **Range** (рис.2).

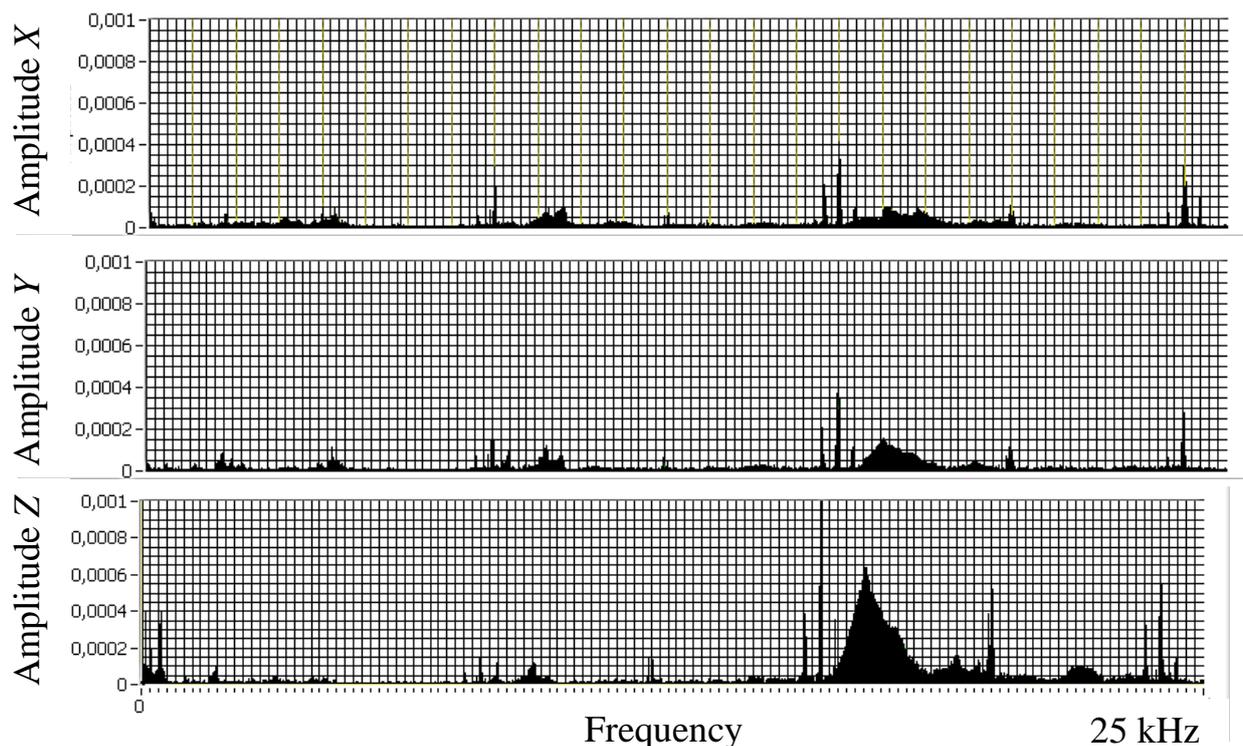


Рис. 3. Спектрограммы сигналов вибродатчиков по осям координат станка X, Y и Z, полученные путем БПФ из соответствующих выборок временного представления этих сигналов на интервале времени 0,2 с.

С выхода блока деления **Divide** безразмерный информационный сигнал поступает на вход блока сравнения **Greater**. На второй вход этого блока задают безразмерную величину уставки (определяют экспериментально), превышение которой приводит к появлению сигнала диагностики о нарушении нормального состояния технологической системы.

Графическое представление безразмерного и размерного информационного сигнала **Range**, а также график сигнала срабатывания блока сравнения и сигнальный индикатор ALARM (**Range**) о нарушении нормального состояния технологической системы по оценке информационного сигнала **Range** выведены на переднюю панель виртуального прибора (не показано).

По аналогичной схеме построен контур диагностики для другого информационного сигнала – площади под амплитудной спектрограммой **Magnitude (peak)** сигнала. Этот сигнал с выхода блока **Spectral Measurements** поступает на вход блока **Statistics**. С выхода блока **Statistics** текущий информационный сигнал **Summation** (рис.4, снизу) поступает на вход блока деления **Divide**, на второй вход которого поступает базовый уровень сигнала **Summation**.

На выходе блока деления **Divide** получают безразмерный текущий информационный сигнал **Summation**. С выхода блока деления **Divide** безразмерный информационный сигнал поступает на вход блока сравнения **Greater**, который работает аналогично вышеописанному одноименному блоку. Сигналь-

ный индикатор ALARM по сигналу **Magnitude (peak)** о нарушении нормального состояния технологической системы также выведен на переднюю панель виртуального прибора (не показано).

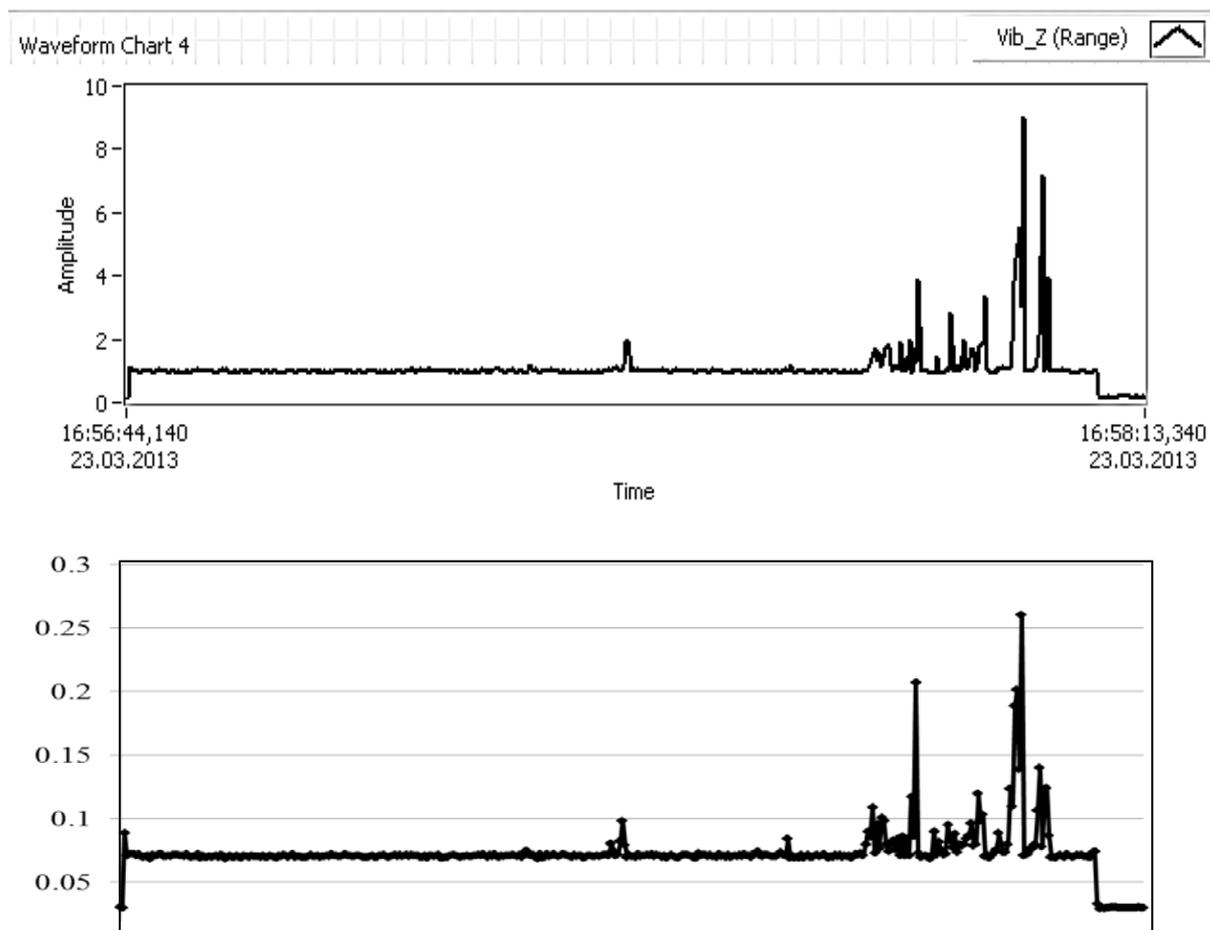


Рис. 4. Изменение безразмерного сигнала **Range** (сверху) и площади под спектрограммой сигнала **Magnitude (peak)** (снизу) в зависимости от времени сверления

Выводы. 1. Установлено, что после достижения критического значения амплитуды информационных сигналов типа **Range** и площади под спектрограммой сигнала типа **Magnitude (peak)** происходит поломка сверла, что используется для диагностики состояния технологической системы сверления.

2. Показано подобие информационных сигналов – **Range** и **Magnitude (peak)** – и на основе этих сигналов разработана двухконтурная система диагностики процесса сверления в среде NI-LabVIEW.

Список литературы: 1. Обработка точных отверстий в приборостроении / В.А. Остафьев, А.И. Пономаренко. – К.: Техніка, 1972. – 136 с. 2. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ИЗНОШЕННЫХ РЕЗЦОВ НА СПЕЦИАЛЬНОМ СТЕНДЕ

Дервянченко А.Г., докт. техн. наук, **Волков С.К.**, инженер,
Криницын Д.А., соискатель, **Доан Ван Бонг**, магистр
(Одесский национальный политехнический университет)

Some results of worn-out tools surfaces defects parameters with the control on the special stand equipment by the system of technical sight are considered

Современные станки оснащаются системами контроля и диагностирования всех основных устройств, в том числе – и режущих инструментов. Все большее применение здесь находят системы технического зрения (СТЗ).

С целью моделирования станочных систем контроля, оснащенных СТЗ, разработан и изготовлен лабораторный стенд. Общий вид этого стенда, обеспечивающего контроль комплекса параметров дефектов изношенных инструментов, показан на рис. 1.

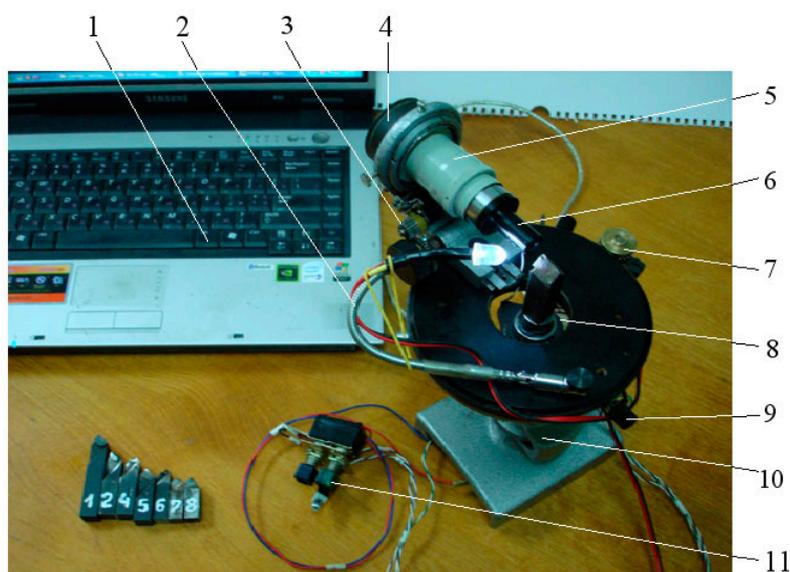


Рис.1. Стенд для контроля параметров дефектов изношенных инструментов

Контролируемый инструмент размещается в специальном устройстве базирования и крепления (8). Цифровая камера (4) крепится на поворотном столе, оснащенный отдельным электроприводом 7. Стол вращается относительно оси стойки 10. Устройство 9 обеспечивает центровку поворотного стола. Цифровая камера оснащена объективом 6, тубусом изменения масштаба 5, а также электроприводом (3) наводки цифровой камеры на резкость. Подсветка изношенных зон режущей части резцов осуществляется с использованием гибкой штан-

ги 2. Дистанционное управление станком производится с использованием внешних кнопок управления электроприводами (11).

Станд обеспечивает возможность регистрации наборов цифровых изображений зон износа на всех поверхностях режущей части резцов и последовательного их ввода в ПЭВМ (1). Например, регистрируется изображение зоны износа главной задней поверхности, затем цифровая камера со столом поворачивается на величину главного угла в плане и регистрируется зона износа при вершине резца. После этого цифровая камера поворачивается на величину вспомогательного угла в плане и регистрируется изображение зоны износа вспомогательной задней поверхности резца.

Последовательность обработки цифрового изображения изношенной передней поверхности резца для полноточечного выявления и выделения соответствующих дефектов показана на рис. 2. Цифровое изображение 1, полученное цифровой камерой, вводится в ПЭВМ. С использованием специального программного комплекса оно преобразуется в полутоновое, затем – в бинарное (2). После этого производится выделение контуров всех зон дефектов (3), определяются координаты их центров в пространстве изображения и в инструментальной системе координат (4). Определяются общая площадь S_{Σ} поверхностных дефектов как сумма площадей всех значимых зон, габаритные размеры, радиусы вписанных и описанных окружностей, коэффициенты формы и др.

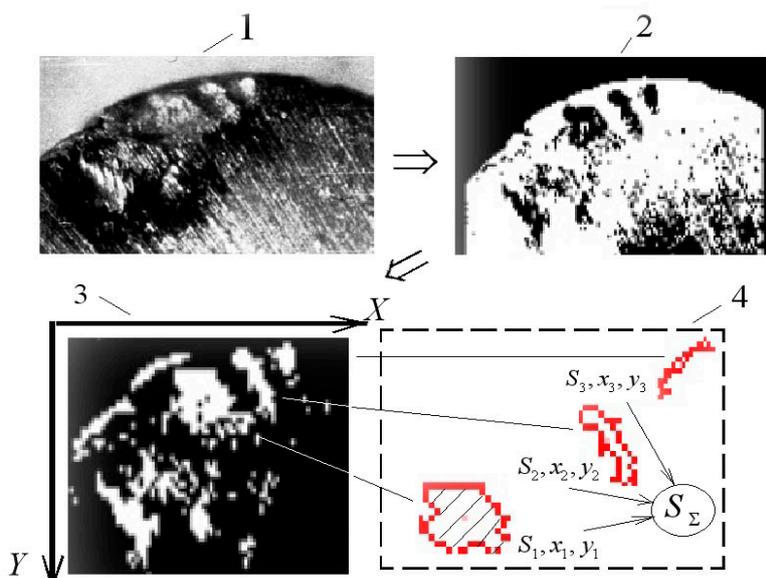


Рис. 2. Выделение дефектных зон изношенной передней поверхности резца и определение их параметров по результатам обработки их цифровых изображений

При контроле состояний инструментов, на рабочую часть которых наносились износостойкие покрытия (например, TiN), легко выделяются зоны трещин, локальных дефектов – изнашивания и разрушения покрытий. Здесь удоб-

но использовать комбинированный алгоритм поиска, основанный: 1. на обнаружении зон, цвет которых отличается от исходного цвета нанесенного покрытия; 2. на обнаружении зон, текстура которых отличается от исходной текстуры покрытия.

Проведен комплекс исследований, которые доказали высокое качество стендового контроля поверхностных дефектов изношенных поверхностей резцов и разработанных программных комплексов. Это создает перспективы использования данного подхода для контроля состояний инструментов различного типа, исследования особенностей их изнашивания, определения классов значимых состояний инструментов и формирования наборов признаков для прогнозирования их остаточного ресурса.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ И ШЛИФОВАНИИ

Кленов О.С., канд. техн. наук (Фирма “ДиМерус Инженеринг”, г. Харьков)

In this paper we consider a theoretical approach to the definition of cutting forces in fur-cal treatment. Calculations revealed that in cutting edge tools tangential component of cutting force greater than the radial component of the force of the cut-and when sanding, on the contrary, less

Определению параметров силовой напряженности процесса резания посвящены многочисленные теоретические исследования [1-4]. Однако в полной мере данная задача не решена из-за ее сложности. Имеются лишь частные решения, справедливые для отдельных условий обработки. Вместе с тем, все возрастающие требования к повышению эффективности процессов резания лезвийными инструментами труднообрабатываемых материалов предопределяет необходимость установления закономерностей уменьшения силовой напряженности процесса резания и соответственно условий повышения качества и производительности обработки.

Целью работы является обоснование условий уменьшения силовой напряженности процесса резания на основе аналитического определения силы резания лезвийным инструментом.

Как известно, при взаимодействии резца с обрабатываемым материалом на передней поверхности резца действуют нормальная сила N и сила трения F , образующаяся в результате трения сходящей стружки с передней поверхностью резца (рис. 1). Суммарная сила резания равна:

$$P = \sqrt{N^2 + F^2} . \quad (1)$$

Учитывая, что между силами N и F существует связь $F / N = \operatorname{tg} \psi = f$, зависимость (1) примет вид:

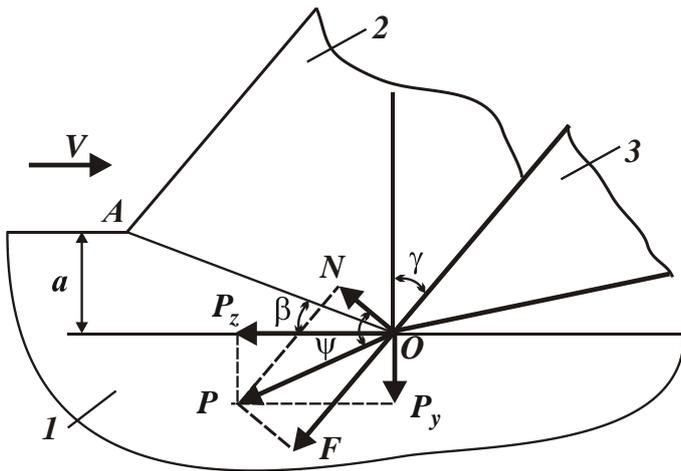


Рис. 1. Расчетная схема составляющих силы резания: 1 – обрабатываемый материал; 2 – стружка; 3 – резец

$$P = N \cdot \sqrt{1 + f^2}, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения на передней поверхности инструмента.

Образование стружки происходит вследствие периодических сдвигов элементарных объемов обрабатываемого материала вдоль условной плоскости сдвига OA [4]. Для определения ее положения необходимо установить условный угол сдвига обрабатываемого материала β из условия достижения наибольшего касательного напряжения:

$$\tau = \frac{P_\tau}{v \cdot L}, \quad (3)$$

где $P_\tau = P \cdot \cos(z + \beta)$ – проекция силы резания P на условную плоскость сдвига материала OA , N ; v – ширина среза, м; $L = a / \sin \beta$ – длина условной плоскости сдвига материала OA , м; a – толщина среза, м; $z = \psi - \gamma$; ψ – условный угол трения на передней поверхности инструмента; γ – передний угол инструмента (резца).

После преобразований зависимость (3) выразится:

$$\tau = \frac{N \cdot \sqrt{1 + f^2} \cdot \cos(z + \beta) \cdot \sin \beta}{a \cdot v} = \frac{N \cdot \sqrt{1 + f^2} \cdot [\sin(z + 2\beta) - \sin z]}{2 \cdot a \cdot v}. \quad (4)$$

Как следует из зависимости (4), касательное напряжение τ принимает наибольшее (максимальное) значение τ_{max} при условии $\sin(z + 2\beta) = 1$ или $z + 2\beta = 90^\circ$. Откуда

$$\beta = 45^\circ - \frac{z}{2} = 45^\circ - \frac{(\psi - \gamma)}{2}. \quad (5)$$

Принимая $\tau = \tau_{max} = \tau_{сдв}$, из зависимости (4) можно определить нормальную силу N (рис. 1), возникающую в процессе резания:

$$N = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{сдв}}{\sqrt{1 + f^2}} \cdot \frac{1}{[\sin(z + 2\beta) - \sin z]} = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{сдв}}{\sqrt{1 + f^2}} \cdot \frac{1}{[1 - \sin(\psi - \gamma)]}, \quad (6)$$

где $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, H/m^2 .

Тогда сила резания P , с учетом зависимостей (2) и (6) выразится:

$$P = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{сдв}}{[1 - \sin(\psi - \gamma)]}. \quad (7)$$

Как следует из зависимости (7), сила резания P тем меньше, чем меньше толщина среза a и угол $z = \psi - \gamma$, т.е. чем меньше угол ψ и больше передний угол резца γ . Тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания определяются (рис. 1):

$$P_z = P \cdot \cos z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \cos(\psi - \gamma)}{[1 - \sin(\psi - \gamma)]}; \quad (8)$$

$$P_y = P \cdot \sin z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \sin(\psi - \gamma)}{[1 - \sin(\psi - \gamma)]}. \quad (9)$$

Исходя из зависимостей (8) и (9), основным условием уменьшения составляющих силы резания P_z и P_y является уменьшение угла $\psi - \gamma$ за счет уменьшения угла ψ и увеличения угла γ . Из зависимостей (8) и (9) также следует, что в случае увеличения разности этих углов до значения, равного 90° , сила резания неограниченно увеличивается. Это свидетельствует о высокой силовой напряженности процесса шлифования, характеризующегося значительными отрицательными передними углами режущих зерен. В этом случае зависимости (8) и (9) принимают вид:

$$P_z = P \cdot \cos z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \cos(\psi + \gamma)}{[1 - \sin(\psi + \gamma)]}; \quad (10)$$

$$P_y = P \cdot \sin z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \sin(\psi + \gamma)}{[1 - \sin(\psi + \gamma)]}. \quad (11)$$

Отношение $P_z / P_y = \text{ctg}(\psi + \gamma) \rightarrow 0$. Следовательно, при шлифовании, в отличие от обработки лезвийными инструментами, тангенциальная составляющая силы резания меньше радиальной составляющей силы резания, что собственно и предопределяет высокую силовую и тепловую напряженности процесса шлифования и возможность возникновения температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях. Используя приведенные зависимости, можно научно обоснованно подходить к определению условий снижения силы резания при механической обработке и выбору рациональных параметров инструментов и режимов резания.

Сравним полученное теоретическое решение с классическим решением об

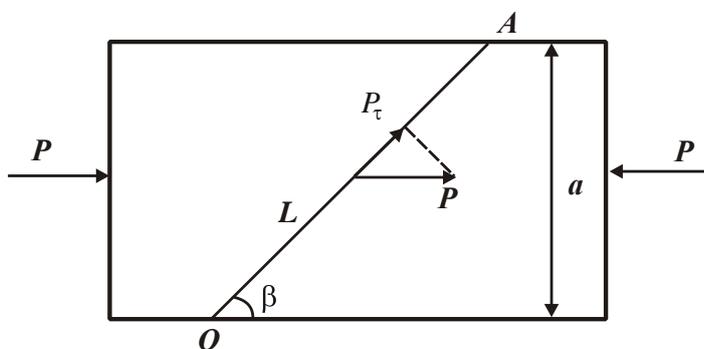


Рис. 2. Расчетная схема

условии разрушения прямолинейного бруса (пластины) от действия двух сжимающих сил P (рис. 2).

Касательное напряжение τ , возникающее в плоскости OA , расположенной под углом β к направлению действия сил, равно

$$\tau = \frac{P_\tau}{v \cdot L} = \frac{2P \cdot \sin 2\beta}{a \cdot v}, \quad (12)$$

где $P_\tau = P \cdot \cos \beta$ – проекция силы P на плоскость ОА, Н; v – ширина пластины, м; $L = a / \sin \beta$ – длина плоскости ОА, м; a – толщина пластины, м.

Очевидно, наибольшее касательное напряжение τ достигается при условии $\sin 2\beta = 1$ (рис. 3), т.е. при

$$\beta = 45^\circ. \quad (13)$$

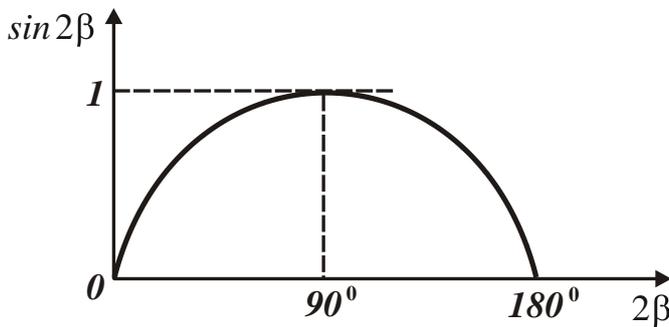


Рис. 3. График функции $\sin 2\beta$

Определим силу P , при которой происходит разрушение пластины (достижение в плоскости ОА предела прочности материала на сдвиг $\tau_{сдв}$, т.е. $\tau = \tau_{сдв}$). Подставляя в зависимость (12) значения $\beta = 45^\circ$ и $\tau = \tau_{сдв}$ с учетом $\sigma_{сж} \approx 2\tau_{сдв}$, получено:

$$P = 2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{сдв} \approx a \cdot v \cdot \sigma_{сж}, \quad (14)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м².

В итоге пришли к известному классическому решению об условии разрушения прямолинейного бруса (пластины) от действия двух сжимающих сил P . Оно соответствует упрощенному решению, описываемому зависимостью (7), для определения силы резания, когда угол $z = \psi - \gamma = 0$. Следовательно, в общем случае процесс резания подчиняется более сложным закономерностям, чем разрушение прямолинейного бруса (пластины).

Полученные теоретические решения использованы для разработки эффективных технологических процессов механической обработки деталей машин с применением прогрессивных конструкций сборных лезвийных металло-режущих инструментов из твердых сплавов с износостойкими покрытиями, которые обеспечивают существенное увеличение производительности обработки и повышение качества и точности обрабатываемых поверхностей.

Разработанные технологические процессы механической обработки, в том числе высокоскоростного резания, внедрены на различных машиностроительных предприятиях Украины на операциях точения, растачивания, фрезерования, обработки отверстий, шлифования и т.д.

Список литературы: 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 2. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с. 3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕМ

Шкурупий В.Г., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця)

The results of investigations on the formation of films on non-metallic surfaces of articles of aluminum and titanium alloys in connection with the optical properties of surfaces

Введение. Известно, что термическим окислением и электроосаждением поверхностных слоев [1] можно изменять геометрическое и физико-химическое состояние поверхностей деталей машин и аппаратов. На финишных операциях формируется то состояние поверхностного слоя, которое будет определять эксплуатационные характеристики поверхностей изделия. При изготовлении изделий работающих в условиях воздействия солнечной радиации наиболее простым способом обеспечения качества поверхностных слоев является создание неметаллических пленок при нагреве на воздухе или в контролируемых средах.

Опубликованы результаты работы [2] по окислению титана и его сплавов, однако эти результаты сложно распространить на конкретные материалы.

Неметаллические пленки на металлических поверхностях, полученные различными методами [3] (анодным, термическим окислением, химическим оксидированием, нанесением различного рода покрытий и др.) могут быть использованы для технологического обеспечения поверхностей деталей заданными оптическими характеристиками A_s (коэффициента поглощения) и ε (коэффициента излучения).

Целью данной работы являлось изучение формирования неметаллических пленок на поверхностях образцов из сплавов ВТ14 и АМгЗ.

Результаты работы. Зависимость A_s и ε от температуры и времени нагрева образцов из сплава ВТ14 приведена на рис.1. Окисление при температуре 873К характеризуется относительно плавным изменением коэффициента поглощения A_s и практически неизменным значением коэффициента излучения ε . Коэффициент поглощения по сравнению с исходными значениями увеличивается до значения 0,82–0,86. Формирование стабильной по оптическим свойствам поверхности у прокатанных образцов происходит за 8–10 мин, у полированных – за 25–30 мин.

Значения коэффициента излучения ε через 60–80 секунд после начала нагрева у прокатанных и полированных образцов выравниваются и практически не изменяются при дальнейшем увеличении времени нагрева. При нагреве до 1073 К значения коэффициента излучения ε возрастают до 0,72 – 0,78. Ха-

рактически не изменился. Увеличение коэффициента излучения ε происходит медленнее величины A_s . Предельное значение A_s для образцов из проката составляет 0,8–0,88 и соответственно 0,88 для полированных образцов. Отмечена некоторая стабилизация значения A_s при выдержке от 20 до 60 мин, что связано с фазовыми превращениями окисной пленки.

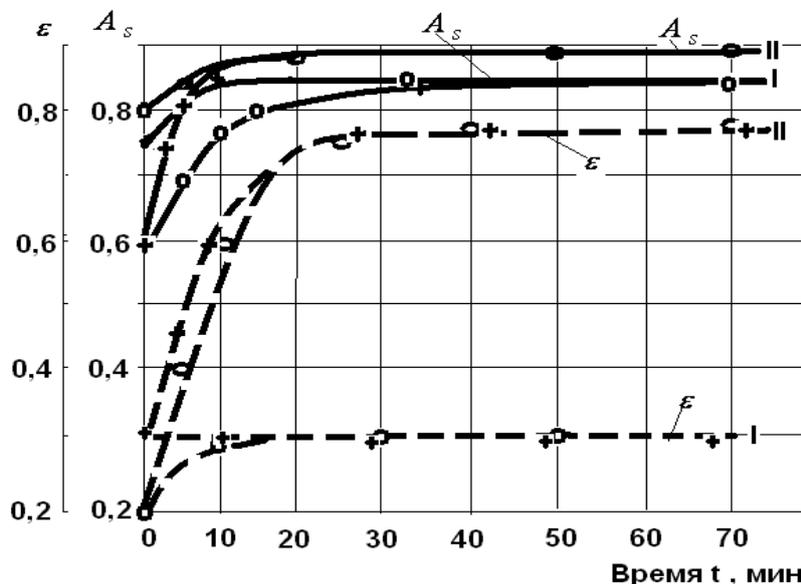


Рис. 1. Влияние нагрева образцов из сплава ВТ14 при температуре 873 К – I; 1073 К – II на образование неметаллических пленок

На рис. 2 показаны изменения A_s и ε при низкотемпературном окислении (до 723 К) при времени выдержки до 120 с. Из графика видно, что при температуре 250°С оптические свойства практически не изменяются. При температурах 623 К – 723 К наблюдается изменение коэффициента до 37% от его исходного значения до обработки. Изменение коэффициента ε при выдержке 120 с происходит в пределах 20–25% от его исходного значения до обработки.

При высокотемпературном окислении при 1273 К деталей из титановых сплавов процесс изменения свойств поверхности происходит значительно интенсивнее и заканчивается при времени выдержки 110–120 с (рис. 2). При более длительных выдержках происходит коробление образцов и осыпание окисной пленки. Такой характер изменения A_s и ε при окислении титановых сплавов связан с изменением химического состава и структуры поверхностного слоя образцов и наличием окисных неметаллических пленок, толщина которых изменяется с изменением времени выдержки при нагреве.

По мере увеличения времени нагрева образца на его поверхности образуются окисные пленки различной интерференционной окраски. Толщина таких пленок в начальной стадии нагрева может составлять 1500–2000 Å. Значение A_s и ε при этом увеличиваются незначительно. Далее с увеличением времени

выдержки из тонкого сплошного однофазного поверхностного слоя происходит перемещение как вещества, так и примесей под действием электрического поля полупроводниковой окисной пленки, а также за счет диффузии под действием сил химического потенциала. Эти превращения могут происходить путем образования и роста на поверхности тонкой окисной матрицы больших по толщине зародышей, которые в итоге смыкаются между собой [1]. После чего начинается обычный процесс увеличения толщины окисной пленки, благодаря диффузии компонентов в поверхности раздела, у которой находится фронт химической реакции. В результате чего через 3–10 мин поверхность покрывается слоем окислов толщиной в несколько тысяч ангстрем [1]. При более высоких температурах сетка зародышей появляется при меньших выдержках (около 15 с). По мере роста толщины пленки в окисной пленке развивается текстура, сопровождающаяся потерей пленкой интерференционной окраски.

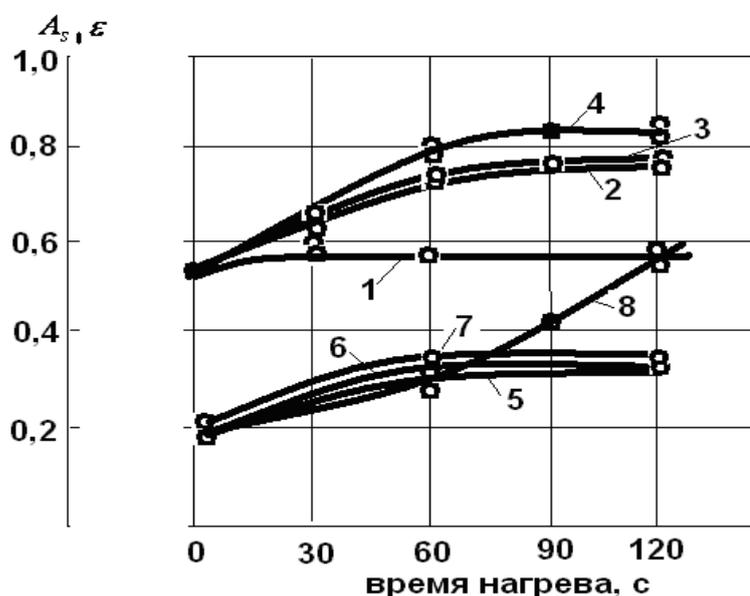


Рис. 2. Влияние нагрева образцов из сплава ВТ14 на образование неметаллических пленок при температурах: $T = 523$ К (1),(5); $T = 623$ К (2), (6); $T = 723$ К (3), (7); $T = 1273$ К (4), (8); 1, 2, 3, 4 – коэффициент поглощения A_s ; 5, 6, 7, 8 – коэффициент излучения ϵ

Кроме того, на поверхности возникают точечные очаги образования окислов легирующих элементов, а также изменение их фаз. Так например, при температуре 943 К происходит оплавление и разложение пятиоксида ванадия V_2O_5 , при температуре 1068 К – разложение окиси молибдена MO_3 [1].

С ростом температуры образца происходят фазовые превращения в слое окиси титана. Так уже при температуре 773 К концентрация анатаза падает, и, соответственно, возрастает концентрация рутила. Эти превращения практически заканчиваются около 1123 К и в окисной пленке рутил остается единственной стабильной фазой при этой и более высокой температуре. Окисление при

нагреве алюминиевых сплавов имеет особенность, которая проявляется в том, что на поверхности алюминиевых сплавов даже при комнатной температуре образуется окисная пленка значительной толщины.

На рис. 3 приведена зависимость оптических характеристик поверхности образцов из сплава АМг3 от времени выдержки при температуре 723 К после различных видов обработки перед окислением при нагреве.

Окисление при нагреве алюминиевых сплавов имеет особенность, которая проявляется в том, что на поверхности алюминиевых сплавов даже при

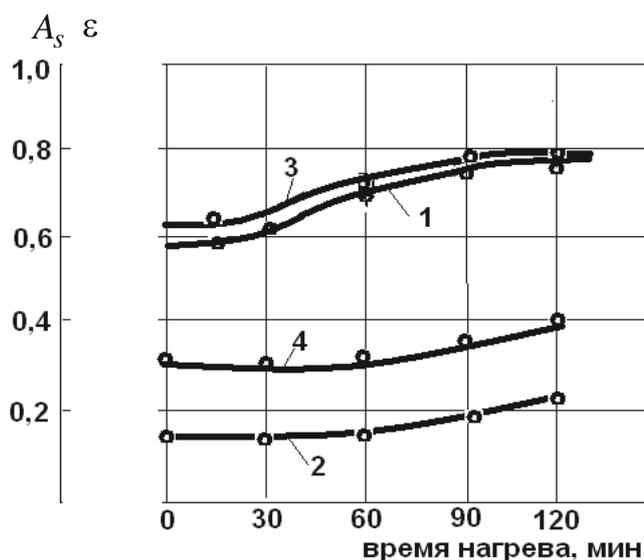


Рис. 3. Влияние нагрева образцов из сплава АМг3 при температуре 623 К:

1, 3 – A_s ; 2, 4 – ϵ ; 1, 2 – прокат;
3, 4 – гидроабразивная обработка

0,21 до 0,79, а коэффициент излучения ϵ от 0,70 до 0,94.

Были получены толстые анодные пленки на деталях из алюминиевых сплавов (толщиной более 30 мкм), которые имели значения A_s и ϵ 0,93 и 0,88. Исследованием установлено, что оптические свойства толстослойных покрытий не зависят от вида обработки поверхности перед анодированием.

Кроме свойств анодных пленок на деталях из алюминиевых сплавов были исследованы параметры анодных пленок на деталях из титановых сплавов ВТ6, ВТ14, ВТ20, ОТ4-1. Образцы после анодирования титановых сплавов имеют различную окраску поверхности, начиная от цвета серебра до темнозеленого. Окраска анодных пленок, возникающая в результате интерференции света, определяется режимом анодирования и прежде всего напряжением.

В табл. 1 приведены значения оптических характеристик от величины напряжения на ванне. Изменение напряжения от 10 до 60 вольт мало влияет на значения излучательной и поглощательной способностей образцов из сплава ВТ14. Это объясняется тем, что получаемая в процессе анодирования пленка имеет малую толщину (менее 1 мкм) и не влияет на значения A_s и ϵ .

комнатной температуре образуется окисная пленка значительной толщины. На рис. 3 приведена зависимость оптических характеристик поверхности образцов из сплава АМг3 от времени выдержки при температуре 723 К после различных видов обработки перед окислением при нагреве. Аналогичные зависимости получены на образцах из сплавов АМг6, Д16, АД1.

Из графиков видно, что значение A_s и ϵ после окисления увеличиваются с возрастанием времени выдержки. Применение анодирования деталей из алюминиевых сплавов (АМг6, АМг3, АД1, Д16) позволило изменять A_s от

Оптические характеристики поверхности образцов из сплава ВТ14
после анодирования

Напряжение, В	Цвет спектра	A_s	ε
10	Коричневый	0,82	0,12
15	Лиловый	0,85	0,14
20	Синий	0,80	0,14
30	Светло-синий	0,73	0,15
45	Желтый	0,88	0,16
60	Зеленый	0,78	0,18

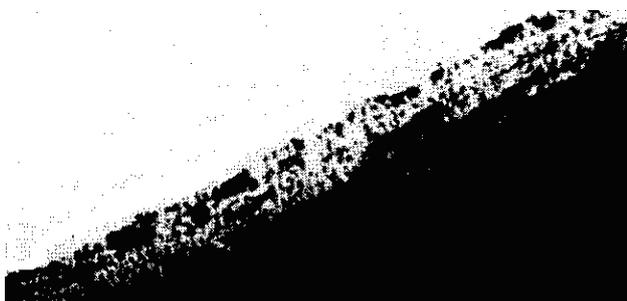


Рис. 4. Фотография поперечного сечения поверхности образца из сплава ВТ14 после толстослойного анодирования (x 1200)

На рис. 4 приведена фотография сечения образца из сплава ВТ14 после толстослойного анодирования.

В результате изучения структуры оксида сплава ВТ14 с помощью дифрактограмм (рис. 5) установлено существование анатазной модификации двуокиси титана. Для определения состава анодного оксида пленки были сформированы в трехкомпонентном электролите при оптимальных условиях в течение 1-го часа.

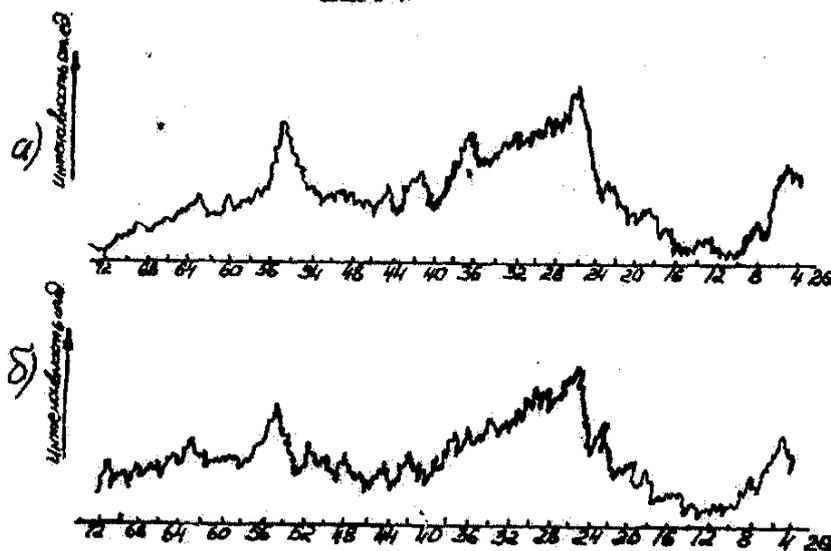


Рис. 5. Дифрактограмма анодного оксида сплава ВТ14:
– наклон образца к первичному пучку 10° ,
– фокусировка по Бреггу-Брентано*

Схематически вид полученного спектра приведен на рис. 6, из которого видно, что анодный оксид не имеет четко выраженных полос поглощения, кроме максимумов при 1400 и 1700 см^{-1} . По-видимому, это некоторые гидроокисные соединения титана, которые по аналогии с аморфной гидроокисью титана, полученной осаждением TiCl_4 на холоде гидрооксидом аммония можно представить в виде двуокиси титана, находящейся в неупорядоченном состоянии, в котором поверхностные атомы координационными связями удерживают молекулы воды. Штрих рентгенограмма анодного оксида сплава ВТ14 с выявленными линиями, отраженными от кристаллической фазы приведена на рис. 7.

Химическое оксидирование деталей из алюминиевых сплавов позволяет изменять и с 0,30 до 0,71 и 0,09 до 0,43 соответственно.

Установлено, что значение A_s и ε зависят от обработки поверхности перед оксидированием.

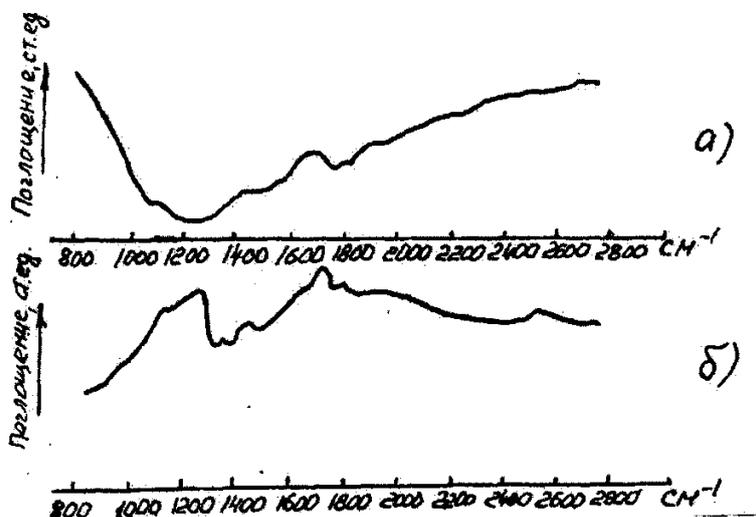


Рис. 6. Схематический вид спектра анодного оксида

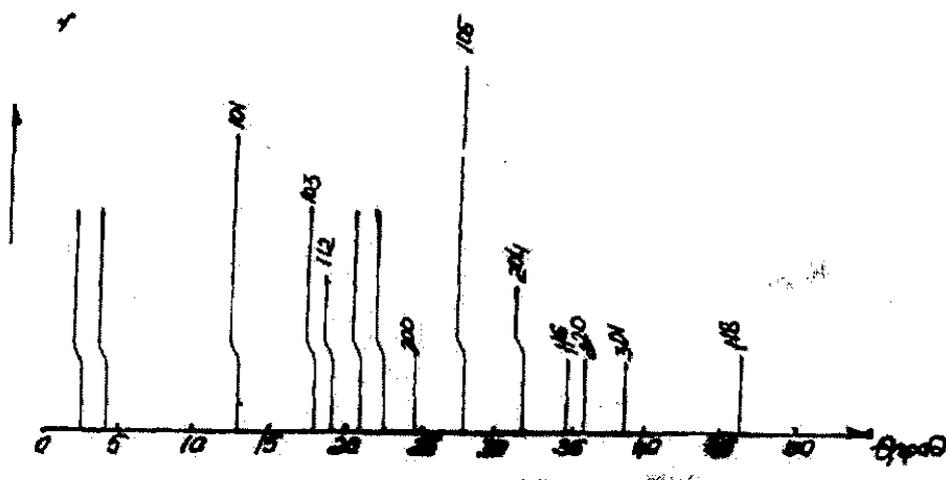


Рис. 7. Штрих-рентгенограмма анодного оксида

Выводы: Максимальные значения $A_s = 0,76 - 0,78$ и $\varepsilon = 0,50$ достигнуты на образцах после гидроабразивной обработки. Минимальные значения A_s и ε получены на поверхностях образцов из проката. Это связано с тем, что шероховатая поверхность более предрасположена к окислению, чем более гладкая.

Список литературы: 1. Гнусин И. П. Шероховатость электроосажденных поверхностей / И.П. Гнусин, Н.Я. Коварский. – Новосибирск: Наука, 1970. – 328 с. 2. Окисление титана и его сплавов / А.С. Бай, Д.И. Лайпер, Е.Н. Слесарев и др. – М.: Металлургия, 1970. – 317 с. 3. Технология тонких пленок (справочник) / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. – Нью-Йорк, 1970. – Пер. с англ. / под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. – М.: Сов. радио, 1977. – Т.1, Т.2. – 1 – 664 с.; 2 – 768 с.

УДК 621.923

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДЕМПФИРУЮЩЕГО РЕЗЦА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

Новиков С.Г., канд. техн. наук

(Институт социального образования (филиал) Российского государственного социального университета, г. Курск)

Малыхин В.В., канд. техн. наук, **Яцун Е.И.**, канд. техн. наук

(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

Shows the design of damping cutter that allows you to improve it eksplua-tional performance and increase durability

Совершенствование конструкций резцов с целью снижения вибраций, возникающих в процессе резания, улучшения эксплуатационных характеристик резцов и повышению их стойкости, является актуальной задачей, так как существующие конструкции не удовлетворяют предъявленным требованиям [1,2].

Нами предложено несколько новых конструкций, качественно улучшающих процессы обработки материалов, одна из разработок представлена на рис. 1. Режущая пластина 1 узлом её крепления 2 жестко фиксирована на верхней поверхности изготовленной в виде прямоугольного параллелепипеда первой ступени 3 двухступенчатой металлической оправки, вторая ступень 4 оправки выполнена цилиндрической и размещена в замкнутой эластичной оболочке из вулканизированного материала, изготовленной в форме стакана 5 с общающимися полыми боковой поверхностью и дном, с закрепленным в его внешней стенке цилиндрическим штуцером 6, при этом внутренний диаметр стакана 5 и его высота от внутренней стенки дна равны соответственно диаметру и длине цилиндрической ступени 4 оправки.

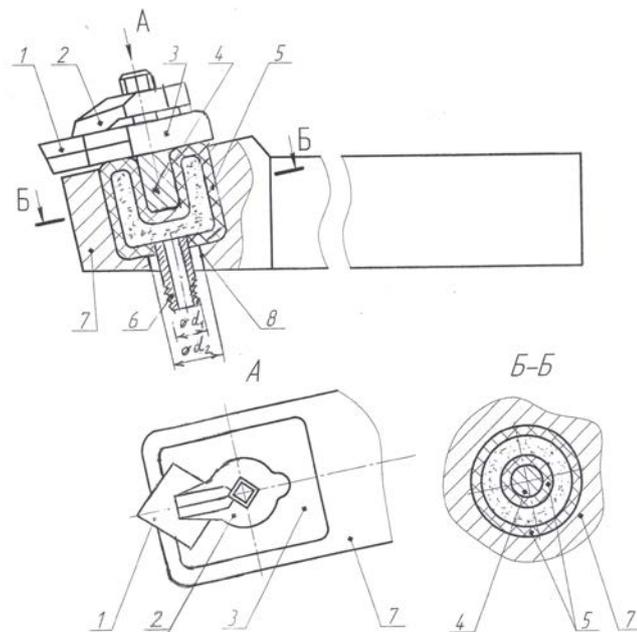


Рис. 1. Универсальный демпфирующий резец с регулируемой жесткостью

Стакан 5 с оправкой свободно с зазорами установлен в цилиндрической выборке, ориентированной по нормали к верхней плоскости переднего конца державки 7 и имеющей в дне сквозное отверстие 8 диаметром d_2 , большим диаметра d_1 штуцера 6, который пропущен соосно с отверстием 8 дна выборки.

Через штуцер 6 закачан сжатый воздух в днище и боковую поверхность стакана 5 до заполнения ими зазоров между выборкой и создания необходимого избыточного давления для образования единой механической системы оправка-стакан 5 с закачанным сжатым воздухом-державка 7, с возможностью регулирования жесткости резца за счет дополнительного закачивания воздуха в замкнутую эластичную оболочку стакана 5 или сбрасыванием его из оболочки без контактирования первой ступени 3 оправки и штуцера 6 стакана 5 с державкой 7 и с обеспечением обработки режущей пластиной 1 материала изделия.

Замкнутая эластичная оболочка стакана 5 может быть изготовлена, например, из резины или тканевого каркаса с двухсторонними резиновыми обкладками, подвергнутыми вулканизации. Так как внутренний диаметр стакана 5 и его высота от внутренней стенки днища равны диаметру и длине цилиндрической ступени 4 оправки, а эластичный материал стакана 5 растяжим, то стакан 5 плавно охватывает всю цилиндрическую ступень оправки.

Цилиндрическую выборку ориентируют по нормали к верхней плоскости переднего конца державки 7. Диаметр выборки выбирают так, чтобы в ней свободно с малыми зазорами был установлен стакан 5 со ступенчатой оправкой, в верхней ступени 3 которой жестко зафиксирована узлом крепления 2 режущая пластина 1. Глубина выборки должна быть такова, чтобы между верхней ступенью 3 оправки и державкой 7 оставался зазор, в сквозное отверстие 8 на выборке державки 7 соосно пропускают цилиндрический штуцер 6 стакана 5, диаметр d_1 штуцера 6 меньше диаметра d_2 отверстие 8 ($d_1 < d_2$).

Через штуцер 6 в сообщающиеся полости днища и боковой поверхности замкнутой эластичной оболочки стакана 5 закачивают сжатый воздух до заполнения ими зазоров между выборкой державки 7 и создают необходимое избыточное давление для образования единой механической системы оправка-стакан 5 с закачанным сжатым воздухом-державка 7. Минимальным избыточным давлением P_{\min} в стакане 5, обуславливающим работоспособность резца, является давление, обеспечивающее отсутствие проворачивания (проскальзывания) по поверхности контакта цилиндрической ступени 4 оправки в стакане 5 и стакана 5 державки 7 при любых параметрах режима обработки конструкционных материалов. Давление внутри замкнутой эластичной оболочки стакана 5 контролируют манометром. Смонтированный резец устанавливают в резцедержателе (манометр и резцедержатель не показаны). Производят тарировку жёсткость-давление образованной механической системы.

Универсальный демпфирующий резец с регулируемой жёсткостью работает следующим образом.

По произведённой тарировке жёсткость-давление в зависимости от обрабатываемого материала и технологических режимов его обработки регулируют жёсткость резца за счёт дополнительного закачивания через штуцер 6 воздуха в замкнутую эластичную оболочку стакана 5 или сбрасыванием его из оболочки. При этом первая ступень 3 оправки не контактирует с державкой 7, так как они были установлены с гарантированным зазором при монтаже резца, штуцер 6 стакана 5 не соприкасается с державкой 7, так как диаметр d_1 штуцера 6 меньше диаметра d_2 сквозного отверстия 8 на выборке. Поэтому днищем и боковой поверхностью стакана 5 с закачанным в него воздухом производится высокоэффективное демпфирование продольных и поперечных вибраций и ударных нагрузок, возникающих в процессе резания, в результате виброизоляции режущей пластины 1 с узлом её крепления 2 на верхней поверхности первой ступени 3 оправки от державки 7 и резцедержателя, тем самым обеспечивается надёжность устойчивого процесса резания и повышения стойкости резца при обработке изделия в любых токарных и строгальных технологических операциях (резец является универсальным).

Бесступенчатая дистанционная регулировка жёсткости резца за счёт изменения давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке стакана 5 можно осуществлять и непосредственно в процессе механической обработки материалов, это создаёт возможность смещения собственных частот колебаний инструмента и вынуждающей силы резания в широких диапазонах, позволяет избежать нежелательного резонанса.

Оригинальность предложенного резца (получено решение о выдаче патента РФ на изобретение от 28.11.2013 по заявке 20212144 043/02 (070713)) позволяет:

1. Улучшить эксплуатационные характеристики резца за счет бесступенчатого дистанционного регулирования его жёсткости изменением давления в замкнутой эластичной оболочке стакана.

2. Повысить стойкость резца, так как днищем и боковой поверхностью стакана с закачанным в него воздухом производится высокоэффективное демпфирование продольных и поперечных вибраций и ударных нагрузок в результате виброизоляции режущей пластины с узлом её крепления на верхней поверхности первой ступени оправки от державки и резцедержателя.

Список литературы: 1. Повышение устойчивости процесса точения демпфирующим резцом / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др. // Изв. Юго-зап. гос. ун-та. – Курск, 2011. – №3. – С. 122–125. 2. Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др. // Изв. Юго-зап. гос. ун-та. – Курск, 2012. – №2. – С. 43–46. 3. Патент 2511193 Рос. Федерация: МПК⁷ В23В27/00. Универсальный демпфирующий резец с регулируемой жесткостью / Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков Ф.В. [и др.] № 2012144043/02; заявл. 16.10.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. – 10 с.

УДК 621.923

КОНСТРУКЦИЯ ДЕМПФИРУЮЩЕГО РЕЗЦА С УПРАВЛЯЕМОЙ ЖЁСТКОСТЬЮ

Новиков С.Г., канд. техн. наук

(Институт социального образования (филиал) Российского государственного социального университета, г. Курск)

Малыхин В.В., канд. техн. наук, **Яцун Е.И.**, канд. техн. наук

(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнецца)

The paper shows the design of the tool with controlled damping stiffness

Изобретение относится к инструментальному производству и может быть использовано в токарных и строгальных технологических операциях.

Известен резец, содержащий державку, в которой расположены режущая пластина и узел ее крепления, и вставку из материала с высоким демпфированием, размещенную в выборке державки, резец снабжен подвижным упором, размещенным в опорной части, выполненной на державке и имеющей выборку, при этом продольная ось упора параллельна продольной оси резца, а в месте сопряжения опорной части с опорной плоскостью державки выполнен упругий шарнир, причем на вставке выполнен выступ, размещенный в выборке опорной части (патент РФ №2009768, МПК⁵В23В27/00, 1994г).

Недостатками являются: низкие эксплуатационные характеристики резца, так как невозможно управлять его жесткостью при обработке различных конструкционных материалов; недостаточная стойкость резца в связи с тем, что режущая пластина не виброизолирована от державки.

Известен универсальный демпфирующий резец (2,3), содержащий режущую пластину и узел её крепления, державку с выборкой в ней и вставку из материала с высоким демпфированием, резец снабжен металлической оправкой и тонкостенным контейнером, причем режущая пластина узлом её крепления жестко фиксирована на верхней поверхности оправки, выполненной в виде прямоугольного параллелепипеда и размещенной в тонкостенном контейнере с равномерными зазорами по его основанию и стенкам, заполненными вставкой из материала с высоким демпфированием, при этом верхняя поверхность оправки установлена выступающей над контейнером без соприкосновения с ним режущей пластины и узла её крепления, а контейнер неподвижно закреплен в выборке, выполненной по форме контейнера и ориентированной по нормали к верхней плоскости переднего конца державки с обеспечением отсутствия контактирования режущей пластины и узла её крепления на оправке с державкой.

Указанный резец имеет следующие недостатки:

1. Низкие эксплуатационные характеристики резца, связанные с тем, что жёсткость вставки из материала с высоким демпфированием, заполняющим равномерные зазоры между оправкой и контейнером, неизменна при любых параметрах технологического процесса, и при обработке различных конструкционных материалов невозможно управление жёсткостью резца, поэтому каждый раз требуется экспериментально определять величину задаваемых зазоров или подбирать состав новых материалов с высоким демпфированием с необходимыми наполнителями, добиваясь требуемой жёсткости.

2. Большие трудоемкость и затраты времени на подготовку резца к работе, обусловленные выдерживанием равномерных зазоров между основанием и стенками контейнера при размещении в нем оправки, заполнением зазоров вставкой из материала с высоким демпфированием, последующей полимеризацией материала, закреплением неподвижно контейнера в выборке державки; сложен и демонтаж резца: извлечение контейнера из выборки и освобождение из него оправки.

3. Недостаточная стойкость резца, из-за наличия пространства между узлом крепления и верхней плоскостью переднего конца державки, то есть консольного расположения режущей пластины над державкой, что вызывает дополнительные напряжения изгиба и ведёт к износу инструмента.

Технической задачей предлагаемого изобретения является улучшение эксплуатационных характеристик резца, снижение трудоемкости и затрат времени на подготовку его к работе и демонтаж, а также повышение стойкости резца.

Технический результат по улучшению эксплуатационных характеристик резца, снижению трудоемкости и затрат времени на подготовку его к работе и демонтаж, а также повышению стойкости резца достигается тем, что универсальный демпфирующий резец с управляемой жёсткостью, содержащий режущую пластину и узел её крепления, державку с выборкой в ней и вставку из

материала с высоким демпфированием, снабжён металлической оправкой и контейнером, причем режущая пластина узлом её крепления жёстко фиксирована на верхней поверхности оправки, выполненной в виде прямоугольного параллелепипеда и размещенной в контейнере, при этом верхняя поверхность оправки установлена выступающей над контейнером без соприкосновения с ним режущей пластины и узла её крепления, а контейнер с оправкой расположен в выборке, выполненной по форме контейнера и ориентированной по нормали к верхней поверхности переднего конца державки с обеспечением отсутствия контактирования режущей пластины и узла её крепления на оправке с державкой, контейнер изготовлен из вулканизированного материала с образованием замкнутой эластичной оболочки с сообщающимися полыми боковыми стенками и днищем параллелепипеда с внутренними размерами, равными поперечным размерам оправки, а во внешней стенке днища закреплен цилиндрический штуцер, расположение контейнера с оправкой произведено свободно с зазорами в выборке, имеющей в дне сквозное отверстие диаметром, большим диаметра штуцера, который пропущен соосно с отверстием, при этом через штуцер закачан воздух в полости днища и боковых поверхностей замкнутой эластичной оболочки контейнера до заполнения ею зазоров между выборкой, самоцентрирования оправки на одинаковых расстояниях от стенок и дна выборки, а также создания необходимого избыточного давления для образования единой механической системы оправка-контейнер с закачанным сжатым воздухом - державка, с возможностью дистанционного бесступенчатого управления жёсткостью резца за счёт изменения давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке контейнера, кроме того, в пространстве между узлом крепления режущей пластины на оправке и верхней плоскостью переднего конца державки установлена с предварительным напряжением сжатия вставка из материала с высоким демпфированием.

На рис. 1 представлен общий вид резца в процессе обработки материала.

Режущая пластина 1 узлом её крепления 2 жёстко фиксирована на верхней поверхности *B* металлической оправки 3, изготовленной в виде прямоугольного параллелепипеда и размещенной в контейнере 4, при этом верхняя поверхность *B* оправки 3 установлена выступающей над контейнером 4 без соприкосновения с ним режущей пластины и узла её крепления 2. Контейнер 4 изготовлен из вулканизированного материала с образованием замкнутой эластичной оболочки с сообщающимися полыми боковыми стенками и днищем параллелепипеда с внутренними размерами, равными поперечным размерам оправки 3, а во внешней стенке днища закреплен цилиндрический штуцер 5. Контейнер 4 с оправкой 3 расположен свободно с зазорами в выборке, выполненной по форме контейнера 4 и ориентированной по нормали к верхней плоскости *B* переднего конца державки 6 с обеспечением отсутствия контактирования режущей пластины 1 и узла её крепления 2 на оправке 3 с державкой 6, штуцер 5 пропущен соосно со сквозным отверстием 7 в дне выборки, диаметр отверстия 7 больше диаметра штуцера 5.

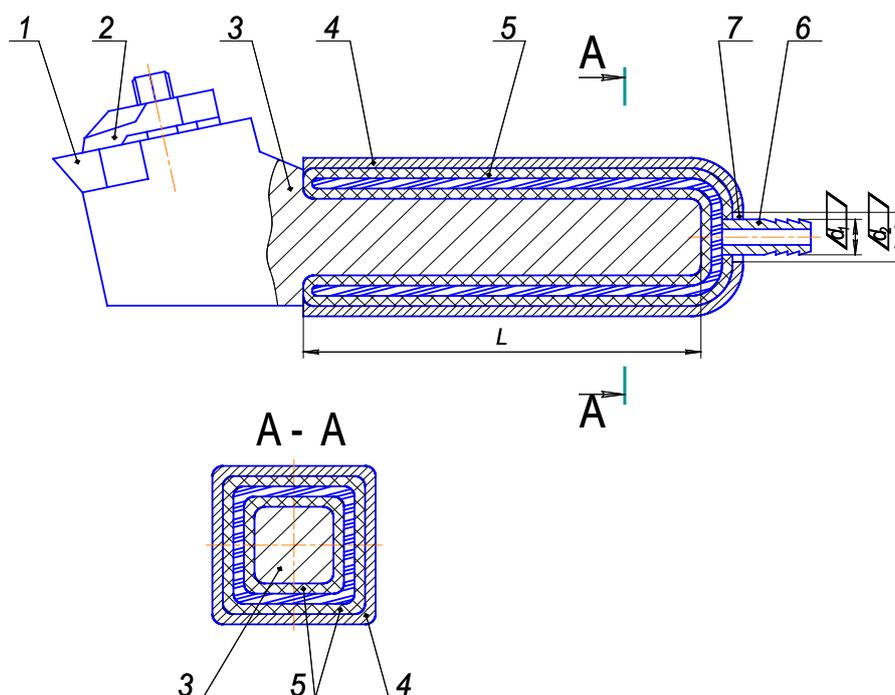


Рис. 1. Демпфирующий резец с управляемой жесткостью

Через штуцер 5 закачан сжатый воздух в полости днища и боковых поверхностей замкнутой эластичной оболочки контейнера 4 до заполнения ею зазоров между выборкой, самоцентрирования оправки 3 на одинаковых расстояниях от стенок и дна выборки, а также создания необходимого избыточного давления для образования единой механической системы оправка 3 - контейнер 4 с закачанным сжатым воздухом - державка 6, с возможностью дистанционного бесступенчатого управления жёсткостью резца за счёт изменения давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке контейнера 4. В пространстве между узлом крепления 2 режущей пластины 1 на оправке 3 и верхней плоскостью *B* переднего конца державки 6 установлена с предварительным напряжением сжатия вставка 8 из материала с высоким демпфированием.

Жесткое фиксирование режущей пластины 1 соответствующей формы на верхней поверхности *B* металлической оправки 3 в зависимости от вида выполняемой технологической операции может быть осуществлено узлом крепления 2 любой конструкции, в том числе и специальными резцовыми вставками.

Замкнутая эластичная оболочка контейнера 4 с сообщающимися полыми стенками и днищем параллелепипеда может быть изготовлена, например, из резины или тканевого каркаса с двухсторонними резиновыми обкладками, подвергнутыми вулканизации. Так как внутренние размеры параллелепипеда равны поперечным размерам державки 6, а эластичная оболочка растяжима то размещение оправки 3 в контейнере 4 происходит быстро и не является трудоемким, а контейнер 4 плотно охватывает находящуюся в нем часть оправки 3 при этом, чтобы верхняя часть оправки 3 была установлена выступающей над контейнером 4 без соприкосновения с ним режущей пластины 1 и узла её крепления 2 высота контейнера 4 должна быть меньше длины оправки 3.

Размеры выборки, выполненной по форме контейнера 4 и ориентированной по нормали к верхней поверхности B переднего конца державки 6, выбирают таким образом, чтобы в выборке с малыми зазорами был расположен контейнер 4, плотно охватывающий находящуюся в нем часть оправки 3, при этом глубина выборки должна обеспечивать отсутствие контактирования режущей пластины 1 и узла её крепления 2 на оправке 3 с державкой 6, что обуславливает наличие пространства между узлом крепления и верхней плоскостью B конца державки 6. В сквозное отверстие 7 дна выборки державки 6 соосно пропускают цилиндрический штуцер 5, диаметр d_1 штуцера 5 меньше диаметра d_2 отверстия 7 ($d_1 < d_2$), что не дает возможности взаимодействовать штуцеру 5 с державкой 6 при всех режимах обработки изделия.

Через штуцер 5 в сообщающиеся полости днища и боковых поверхностей замкнутой эластичной оболочки контейнера 4 закачивают сжатый воздух до заполнения ею зазоров между выборкой державки 6 и создают необходимое избыточное давление для образования единой механической системы оправка 3 – контейнер 4 с закачанным сжатым воздухом - державка 6. Минимальным избыточным давлением P_{\min} в контейнере 4, обуславливающим работоспособность резца, является давление, обеспечивающее отсутствие проворачивания (проскальзывания) по поверхности контакта контейнера 4 относительно выборки, а также вырыв контейнера 4 с оправкой 3 из державки 6. Кроме того, за счет созданного избыточного давления в контейнере 4 происходит самоцентрирование оправки 3 с расположением её на одинаковых расстояниях от стенок и дна выборки державки 6 и не требуется дополнительного неподвижного закрепления контейнера 4 в выборке. Давление внутри замкнутой эластичной оболочки контейнера 4 контролируют манометром. В пространстве между узлом крепления 2 режущей пластины 1 на оправке 3 и верхней плоскостью B переднего конца державки 6 устанавливают вставку 8 из материала с высоким демпфированием, этим достигается отсутствие консольного расположения режущей пластины 1 и узла её крепления 2 над державкой 6. При установке вставка 8 подвергнута предварительному напряжению сжатия, которое создает силы, направленные в противоположную сторону от сил, изгибающих режущую пластину 1 с узлом её крепления 2 в процессе резания.

Смонтированный резец устанавливают в резцедержателе (манометр и резцедержатель не показаны). Производят тарировку жёсткость-давление образованной механической системы.

Универсальный демпфирующий резец с управляемой жёсткостью работает следующим образом.

В зависимости от обрабатываемого материала и технологических режимов его обработки по произведённой тарировке жёсткость-давление управляют жёсткостью резца за счёт изменения давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке контейнера 4, закачиванием воздуха через штуцер 5 в полости контейнера 4 увеличивают жесткость резца, при сбрасывании – уменьшают. Так как в процессе обработки изделия режущая пластина 1, узел её

крепления 2, оправка 3 и штуцер 5 виброизолированы от державки 6, то сжатым воздухом, закачанным в полости днища и боковых поверхностей контейнера 4 осуществляется демпфирование возникающих продольных и поперечных вибраций и ударных нагрузок. Вставка 8, установленная в пространстве между узлом крепления 2 режущей пластины 1 на оправке 3 и верхней плоскостью *B* переднего конца державки 6 и подвергнутая предварительному напряжению сжатия увеличивает эффективность демпфирования и приводит к повышению стойкости резца.

Дистанционное бесступенчатое управление жёсткостью резца изменением давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке контейнера 4 осуществимо и непосредственно в процессе механической обработки материалов, что создаёт возможность смещения собственных колебаний инструмента и вынуждающей силы резания, позволяет избежать нежелательного явления резонанса и приводит к дополнительному увеличению стойкости резца и улучшению его эксплуатационных характеристик.

Управление подачей сжатого воздуха в замкнутую эластичную оболочку контейнера 4 до создания необходимого давления или сбрасыванием давления воздуха из полых стенок и днища контейнера 4 осуществляют через штуцер 5, например, при помощи трёхпозиционного крана, установленного на воздуховоде от средства подачи сжатого воздуха, например, компрессора. Первая позиция крана связывает средство подачи сжатого воздуха с замкнутой эластичной оболочкой контейнера 4. Второе положение крана перекрывает подачу воздуха в полые боковые поверхности и днище контейнера 4. Третья позиция - связывает контейнер 4, с атмосферой (компрессор и трёхпозиционный кран не показаны). Возможно управление жесткостью резца также при помощи системы клапанов, золотниковых или других устройств.

Замену режущей пластины 1 возможно производить без сбрасывания давления воздуха в полых стенках и днище контейнера 4.

При необходимости демонтажа резца державку 6 освобождают из резцедержателя, сбрасывают давление в замкнутой эластичной оболочке контейнера 4 до величины атмосферного, и ранее существовавшая механическая система оправка 3 – контейнер 4 с закачанным сжатым воздухом – державка 6 распадается на отдельные составляющие части оправка 3 в контейнере 4 без сжатого воздуха и державка 6, после чего оправку 3 освобождают из контейнера 4. Демонтаж резца происходит быстро и практически не требует трудозатрат.

Оригинальностью предложенного универсального резца с управляемой жёсткостью является то, что контейнер 4 изготовлен из вулканизированного материала с образованием замкнутой эластичной оболочки с сообщающимися полыми боковыми стенками и днищем параллелепипеда с внутренними размерами, равными поперечным размерам оправки 3, а во внешней стенке днища закреплен цилиндрический штуцер 5, расположение контейнера 4 с оправкой 3 произведено свободно с зазорами в выборке, имеющей в дне сквозное отвер-

стие 7 диаметром d_2 , большим диаметра d_1 штуцера 5, который пропущен соосно с отверстием 7, при этом через штуцер 5 закачан сжатый воздух в полости днища и боковых поверхностей замкнутой эластичной оболочки контейнера 4 до заполнения ею зазоров между выборкой, самоцентрирования оправки 3 на одинаковых расстояниях от стенок и дна выборки, а также создания необходимого избыточного давления для образования единой механической системы оправка 3 - контейнер 4 с закачанным сжатым воздухом - державка 6, с возможностью дистанционного управления жёсткостью резца за счёт изменения давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке контейнера 4, кроме того, в пространстве между узлом крепления 2 режущей пластины 1 на оправке 3 и верхней плоскостью B переднего конца державки 6 установлена с предварительным напряжением вставка 8 из материала с высоким демпфированием. Это позволяет:

1. Улучшить эксплуатационные характеристики резца за счёт дистанционного бесступенчатого управления его жёсткостью изменением давления сжатого воздуха в замкнутой эластичной оболочке контейнера.

2. Снизить трудоемкость и затраты времени на подготовку резца к работе, так как при закачке сжатого воздуха в полости днища и боковых поверхностей замкнутой эластичной оболочки контейнера происходит заполнение ею зазоров между выборкой, самоцентрирование оправки на одинаковых расстояниях от стенок и дна выборки, а также создания необходимого избыточного давления для образования единой механической системы оправка - контейнер с закачанным сжатым воздухом - державка без дополнительного закрепления контейнера в выборке.

3. Упростить демонтаж резца путем сбрасывания давления в замкнутой эластичной оболочке контейнера до величины атмосферного, после чего существовавшая механическая система оправка - контейнер с закачанным сжатым воздухом - державка распадается на отдельные части без трудозатрат.

4. Повысить стойкость резца установкой с предварительным напряжением сжатия вставки из материала с высоким демпфированием в пространстве между узлом крепления режущей пластины на оправке и верхней плоскостью переднего конца державки.

Таким образом, предлагаемый универсальный демпфирующий резец с управляемой жёсткостью позволяет достичь технического результата по улучшению эксплуатационных характеристик резца снижению трудоемкости и затрат времени на подготовку его к работе и демонтаж, а также повышению стойкости резца.

Список литературы: 1. Патент РФ №2009768, МПК⁵В23В27/00, 1994 г. 2. Повышение устойчивости процесса точения демпфирующим резцом / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др. // Изв. Юго-зап. гос. ун-та. – Курск, 2011. – №3. – С. 122–125. 3. Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.И. Яцун и др. // Изв. Юго-зап. гос. ун-та. – Курск, 2012. – №2. – С. 43–46.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

Рябенков И.А., канд. техн. наук (ГП ХМЗ “ФЭД”, г. Харьков)

The theoretical solution of the problem of elastic movements, fuss-penitent in the technological system at flat grinding, and on this basis to study the conditions of increasing the efficiency of

Несмотря на значительные технологические возможности процесса шлифования, стабильно обеспечить высокие показатели производительности и качества обработки деталей машин сложно. Это связано со значительной силовой и тепловой напряженностью процесса резания, причиной чему является интенсивное трение связки круга с обрабатываемым материалом. В связи с этим, в работе решается задача обоснования условий повышения эффективности процесса плоского шлифования на основе управления упругими перемещениями, возникающими в технологической системе.

При плоском многопроходном шлифовании радиальная составляющая силы резания $P_y = P_z / K_{рез}$ равна упруго-восстанавливающей силе $P_y = c \cdot y = c \cdot (t \cdot n - t_\phi \cdot n)$, возникающей в технологической системе, где $P_z = \sigma \cdot \frac{Q}{V_{кр}} = \sigma \cdot \frac{B \cdot V_{дет} \cdot t_\phi}{V_{кр}}$ – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $K_{рез}$ – коэффициент резания; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t_\phi$ – фактическая производительность обработки, м³/с; B – ширина шлифования, м; $V_{дет}$, $V_{кр}$ – скорости детали и круга, м/с; t , t_ϕ – номинальная и фактическая глубины шлифования, м; y – величина упругого перемещения, возникающего в технологической системе, м; c – жесткость технологической системы, Н/м; n – количество проходов круга [1].

Из условия равенства двух сил получено:

$$t_\phi = \frac{t}{\left(1 + \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{дет}}{K_{рез} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot n}\right)}. \quad (1)$$

На рис. 1,а показан график зависимости t_ϕ от количества проходов круга n . Как видно, с увеличением n фактическая глубина шлифования t_ϕ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к номинальной глубине шлифования t .

По такому же закону будет изменяться и производительность обработки (рис. 1,б):

$$Q = \frac{Q_0}{\left(1 + \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{\text{дем}}}{K_{\text{рез}} \cdot c \cdot V_{\text{кр}} \cdot n}\right)}. \quad (2)$$

где $Q_0 = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t$ – номинальная производительность обработки, м³/с.

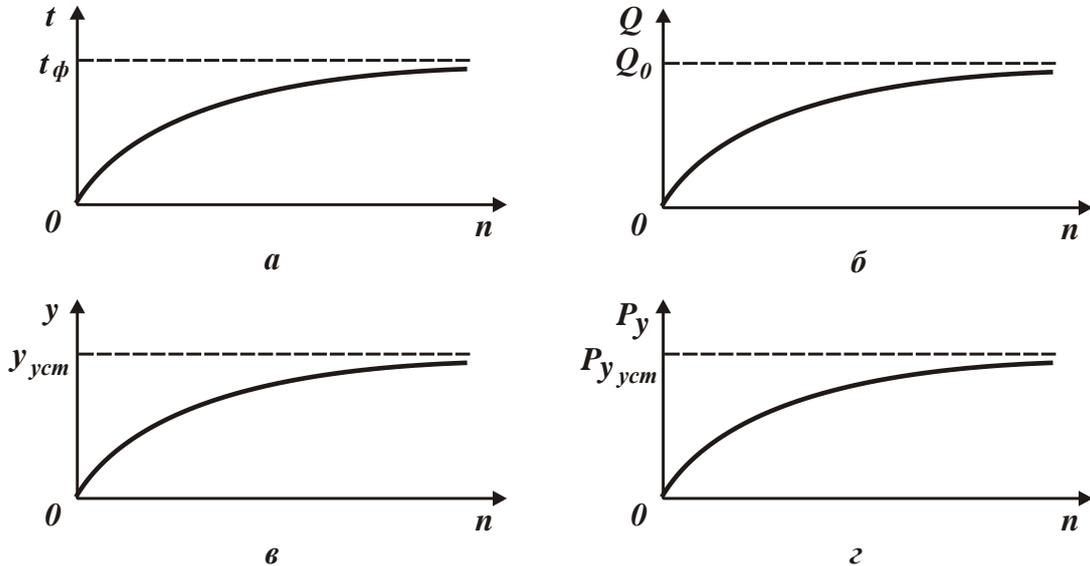


Рис. 1. Зависимости параметров t_ϕ (а), Q (б), y (в) и P_y (г) от n

Величина упругого перемещения y определяется зависимостью:

$$y = (t \cdot n - t_\phi \cdot n) = \frac{t \cdot n}{\left(1 + \frac{K_{\text{рез}} \cdot c \cdot V_{\text{кр}} \cdot n}{\sigma \cdot B \cdot V_{\text{дем}}}\right)}. \quad (3)$$

Из зависимости (3) следует, что при $n=0$ величина упругого перемещения $y=0$, а при $n \rightarrow \infty$, вследствие преобладания в знаменателе зависимости (3) второго слагаемого, величина упругого перемещения y выражается:

$$y = y_{\text{уст}} = \frac{\sigma \cdot B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t}{K_{\text{рез}} \cdot c \cdot V_{\text{кр}}} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{K_{\text{рез}} \cdot c \cdot V_{\text{кр}}} = \frac{P_{y_{\text{уст}}}}{c}, \quad (4)$$

где $y_{\text{уст}}, P_{y_{\text{уст}}} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{K_{\text{рез}} \cdot V_{\text{кр}}}$ – установившиеся значения величины упругого перемещения y и радиальной составляющей силы резания P_y .

Следовательно, с увеличением количества проходов круга n величина упругого перемещения y непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившемуся значению $y_{\text{уст}}$ (рис. 1, в).

Зависимость (3) с учетом зависимости (4) можно представить в более удобном для анализа виде:

$$y = \frac{1}{\left(\frac{1}{n \cdot t} + \frac{1}{y_{уст}}\right)} = \frac{y_{уст}}{\left(1 + \frac{y_{уст}}{n \cdot t}\right)}. \quad (5)$$

Как видно, при $n=0$ величина упругого перемещения $y=0$, а при $n \rightarrow \infty$ соответственно $y \rightarrow y_{уст}$ (рис. 1,в). По такому же закону будет изменяться и радиальная $P_y = c \cdot y$ составляющая силы резания:

$$P_y = \frac{c \cdot t \cdot n}{\left(1 + \frac{K_{рез} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot n}{\sigma \cdot B \cdot V_{дет}}\right)}. \quad (6)$$

С увеличением количества проходов круга n радиальная P_y составляющая силы резания непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к установившемуся значению $P_{y_{уст}}$ (рис. 1,в).

Необходимо отметить, что зависимость (5) соответствует аналогичной зависимости, приведенной в работе [2], которую можно представить в виде:

$$y = y_{уст} \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{t}{y_{уст}}\right)^n}\right]. \quad (7)$$

Для исходных данных: $t=10$ мкм; $y_{уст}=40$ мкм зависимости (5) и (7) принимают вид:

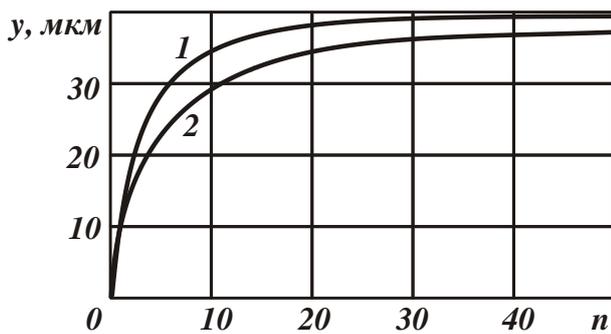


Рис. 2. Зависимость y от n :

- 1 – расчет по зависимости (8);
- 2 – расчет по зависимости (9)

$$y = \frac{40}{\left(1 + \frac{4}{n}\right)}; \quad (8)$$

$$y = 40 \cdot \left[1 - \frac{1}{1,25^n}\right]. \quad (9)$$

На рис. 2 и в табл. 1 приведены рассчитанные по зависимостям (8) и (9) значения величины y от количества проходов круга n . Как видно, расчеты по зависимости (8) приводят к большим значениям величины упругого перемещения y и соответственно к более быстрому приближению y к значению $y_{уст}$ с увеличением количества проходов круга n . Однако структурно зависимости (5) и (7) совпадают, т.к. содержат одни и те же параметры - t и

$y_{уст}$, причем зависимость (5) в более простом и удобном для анализа виде. Это указывает на целесообразность применения зависимости (5) для решения практических задач, что открывает новые технологические возможности поиска наиболее перспективных направлений повышения эффективности шлифования, а также и процессов лезвийной обработки.

Таблица 1

Расчетные значения величины упругого перемещения y (в мкм)

n	0	1	2	5	10	50	100
Зависимость (8)	0	8	13,3	22,2	28,6	37	39,9
Зависимость (9)	0	8	14,4	26,9	35,7	39,94	–

Учитывая одинаковый характер изменения величины y от n в зависимостях (5) и (7), рассмотрим возможности математического преобразования зависимости (7) к виду зависимости (5). Нетрудно видеть, что величина $(1 + t / y_{уст})^n$, входящая в знаменатель зависимости (7), представляет собой биномиальный ряд:

$$(1 + \alpha)^n = 1 + n \cdot \alpha + \frac{n \cdot (n-1)}{1 \cdot 2} \cdot \alpha^2 + \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot \alpha^3 + \dots, \quad (10)$$

где $\alpha = t / y_{уст} < 1$.

Для $n=1$ имеем: $(1 + \alpha)^1 = 1 + 1 \cdot \alpha$;

для $n=2$ имеем: $(1 + \alpha)^2 = 1 + 2 \cdot \alpha + \alpha^2$;

для $n=3$ имеем: $(1 + \alpha)^3 = 1 + 3 \cdot \alpha + 3 \cdot \alpha^2 + \alpha^3$;

для $n=4$ имеем: $(1 + \alpha)^4 = 1 + 4 \cdot \alpha + 6 \cdot \alpha^2 + 4 \cdot \alpha^3 + \alpha^4$ и т.д.

Очевидно, при $\alpha < 1$ определяющими в приведенных зависимостях являются первые два слагаемых. Поэтому в первом приближении можно биномиальный ряд рассматривать в виде: $(1 + \alpha)^n = 1 + n \cdot \alpha$ или

$$\left(1 + \frac{t}{y_{уст}}\right)^n = 1 + n \cdot \frac{t}{y_{уст}}. \quad (11)$$

Подставляя выражение (11) в зависимость (7), получено

$$y = \frac{y_{уст}}{\left(1 + \frac{y_{уст}}{n \cdot t}\right)}. \quad (12)$$

В итоге пришли к зависимости (5). Следовательно, принятые упрощения при определении радиальной составляющей силы резания P_y и упруговосстанавливающей силы эквивалентны упрощению биномиального ряда, соответствующего переходу от величины $(1 + t / y_{уст})^n$ к величине $1 + n \cdot t / y_{уст}$.

Как показали расчеты (табл. 1), расхождение величин $(1 + t / y_{уст})^n$ и $1 + n \cdot t / y_{уст}$ проявляется с увеличением количества проходов круга n , т.е. при значениях y , близких к значению $y_{уст}$. При $y < y_{уст}$ расхождение значений y , рассчитанных по зависимостям (8) и (9) незначительно и вполне приемлемо для практических расчетов [3]. Таким образом, математически обоснована степень расхождения упрощенной и уточненной аналитических зависимостей для определения величины y и доказана возможность практического использования упрощенной зависимости.

Из зависимости (12) следует, что основным путем уменьшения величины y и соответственно повышения точности обработки является уменьшение величины $y_{уст}$. Повысить производительность обработки можно за счет создания в технологической системе начального натяга, равного величине $y_{уст}$.

Список литературы: 1. Новіков Ф.В. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей : монографія / Ф.В. Новіков, І.О. Рябенков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с. 2. Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / І.О. Рябенков. – Одеса, 2009. – 21 с. 3. Рябенков І.А. Оценка влияния интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом на эффективность процесса шлифования / И.А. Рябенков, Ф.В. Новиков // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2014. – № 43 (1086). – С. 143–147.

УДК 621.9.025

РЕЙТИНГ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Гуцаленко Ю.Г., ст. науч. сотр.

(Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков)

The problem of comparing the operational capabilities of the tool materials and cutting inserts of them is considered. Taken into account the extended system of working capacity criteria include the speed of volumetric removable, tool life, cutting work path, area of processed surface, volumetric removal. The systematic analytical model is proposed, and the calculation is made for the superhard composites in conventional disposable cutting inserts based on cubic boron nitride. Calculation has been made under the conditions and norms of the standard tests for tool life.

Введение и постановка задачи. Необходимость сравнительной оценки работоспособности режущих пластин из сверхтвердых инструментальных материалов возникает в задачах предпочтения в организационно-технологической подготовке производства и превентивных расчетах его экономических показате-

телей, а также при выборе базовых объектов научных исследований для формирования информационных систем поддержки внедрения в промышленность новых и перспективных технологий механической обработки.

Синтетические сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора, открытого в 1957 году Робертом Венторфом для американской многоотраслевой корпорации *Дженерал Электрик*, и в нынешнем веке продолжают оставаться топ-уровневым товаром инструментального назначения на мировом рынке техники и технологий механической обработки [1]. Межгосударственный стандарт [2] рассматривает применение семи нитридных сверхтвердых композитов, источниками современного рыночного предложения которых являются предприятия и организации России [3-5], Украины [6] и Беларуси [7], а именно: ЗАО «Завод «Композит»» [3], Научно-техническая фирма ООО «КНБ» (ОАО «ВНИИинструмент») [4], ОАО «Московское производственное объединение по выпуску алмазного инструмента» [5], Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины [6], Институт физики твердого тела и полупроводников НАН РБ [7]. Рассматриваемую группу сверхтвердых инструментальных материалов на основе кубического нитрида бора составляют следующие композиты: 01 (К01 – эльбор-Р) [3], 02 (белбор) [7], 05 (К05ИТ) [3], 06 [4], 10Д (К10Д – двухслойные пластины: гексанит-Р с подложкой из безвольфрамового сплава) [3], 11 (киборит) [4, 6], Томал-10 [5]. В соответствие каждой из этих инструментальных альтернатив стандартом [2] оговорена рекомендуемая область применения и стандартный регламент стойкостных испытаний, базы данных которого по режимам резания и нормативам стойкости использованы в выполненных расчетах.

Исходные данные. Исходные данные для выполнения рейтинговых расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

Показатель	Марка композита					
	01, 02	05	06	10Д	11	Томал-10
Исходные данные [2]						
Скорость (v), м/мин	75			60	110	90
Подача (S_p), м/об, $\cdot 10^{-3}$.	0,20	0,15	0,10	0,07	0,10	
Глубина (t), м, $\cdot 10^{-3}$.	0,8	2,0	0,5	0,4	0,5	0,8
Средняя стойкость (T_{cp}), мин	20	15	40	30	60	50
95-процентная стойкость ($T_{95\%}$), мин	8	6	16	12	24	20

Система и результаты расчетов. В табл. 2 в сопровождении необходимых понятийных пояснений приведены используемые в расчетах данных по табл. 3 аналитические зависимости. Система приведенных аналитических зависимостей использует унифицированную систему идентификаторов.

Систему и результаты расчетов представляет табл. 3. Округление расчетных данных, где оно произведено в реляционном представлении, выполнено отбрасыванием остатка.

Выражения вида $k_{X(Y)}$ в табл. 2 и 3 объединяет ряд $I = 1, \dots, i, \dots, I$ относительных оценок $k_{X_i(Y)} = X_i / X_j \in Y_j = Y_{opt}$, где X – элементарный параметр или элементарный комплекс параметров (например, произведение двух или нескольких параметров), Y – критериальная функция, \in – знак принадлежности. Частные случаи $k_{X(Y)} \equiv k_X$: 1) если $X \equiv Y$; 2) если $X_j \in Y_j = Y_{opt}$, и притом $X_j \equiv X_{opt}$. В рассматриваемой задаче $opt \equiv max$ для всех Y , каковыми по табл. 2 и 3 являются Q, T, L, F, W и, в последующем рассмотрении перетачиваемых режущих пластин, суммарный съем V с учетом переточек.

В общем случае рассмотрения относительной работоспособности по элементарным оценкам (k_T, k_Q) и комплексным или, в контексте [8], ресурсным (k_L, k_F, k_W), предпочтение следует отдавать оценке по k_W , поскольку она входящей в ее состав структурой аналитического отображения объемного съема (m^3) учитывает наибольшее число независимых факторов влияния и поэтому является наивысшей по значимости в иерархии ресурсных, по сравнению с оперирующей площадями (m^2) оценкой k_F и оперирующей траекториями (m) оценкой k_L .

Таблица 2

Основные понятия и аналитические отображения

Символ	Понятийное содержание	Аналитическое выражение
k_T	Относительная стойкость, средняя, $T = T_{cp}$, или 95-процентная, $T = T_{95\%}$; в системе норм [2] $T_{95\% i} = 0,4T_{cp i}$ ($T_{95\% i} = 0,4T_{cp i}$) и $k_{T_{cp}} = k_{T_{95\%}} = k_T$	$k_{Ti} = (T_{cp})_i / (T_{cp})_{max} = (T_{95\%})_i / (T_{95\%})_{max}$
Q	Производительность объемного съема, $m^3/мин$	$Q = v S_o t$
k_Q	Относительная производительность объемного съема	$k_{Qi} = (v S_o t)_i / (v S_o t)_{max}$
L	Рабочий путь резания за нормативную стойкость, среднюю, $T = T_{cp}$, или 95-процентную, $T = T_{95\%}$, m	$L = v T$
k_L	Относительный рабочий путь резания за нормативную стойкость, среднюю, $T = T_{cp}$, или 95-процентную, $T = T_{95\%}$, в общем случае непостоянства нормы стойкости T_i	$k_{Li} = (v T)_i / (v T)_{max}$ или $k_L = k_{v(v \cdot T)} \cdot k_{T(v \cdot T)}$, где $k_{v(v \cdot T)i} = v_i / v_{(v \cdot T)max}$ и $k_{T(v \cdot T)i} = T_i / T_{(v \cdot T)max}$
F	Площадь поверхности, обработанной за нормативную стойкость, среднюю, $T = T_{cp}$, или 95-процентную, $T = T_{95\%}$, m^2	$F = S_o \cdot v T$
k_F	Относительная площадь поверхности, обработанной за нормативную стойкость, среднюю, $T = T_{cp}$, или 95-процентную, $T = T_{95\%}$, в общем случае непостоянства нормы стойкости T_i .	$k_{Fi} = (S_o \cdot v T)_i / (S_o \cdot v T)_{max} = (S_o L)_i / (S_o L)_{max}$ или $k_F = k_{S_o(S_o \cdot L)} \cdot k_{L(S_o \cdot L)}$, где $k_{S_o(S_o \cdot L)i} = S_{oi} / S_{o(S_o \cdot L)max}$ и $k_{L(S_o \cdot L)i} = L_i / L_{(S_o \cdot L)max}$
W	Съем за нормативный период стойкости, средней, $T = T_{cp}$, или 95-процентной, $T = T_{95\%}$, в общем случае непостоянства нормы стойкости T_i , m^3	$W = v S_o t T$
k_W	Относительный съем за нормативный период стойкости, средней, $T = T_{cp}$, или 95-процентной, $T = T_{95\%}$ ($n_o = const$)	$k_{Wi} = (v S_o t T)_i / (v S_o t T)_{max}$ или $k_W = k_{Q(Q \cdot T)} \cdot k_{T(Q \cdot T)}$, где $k_{Q(Q \cdot T)i} = Q_i / Q_{(Q \cdot T)max}$ и

	$k_{T(O.T)i} = T_i / T_{(O.T)max}$
--	------------------------------------

Таблица 3

Система и результаты расчетов

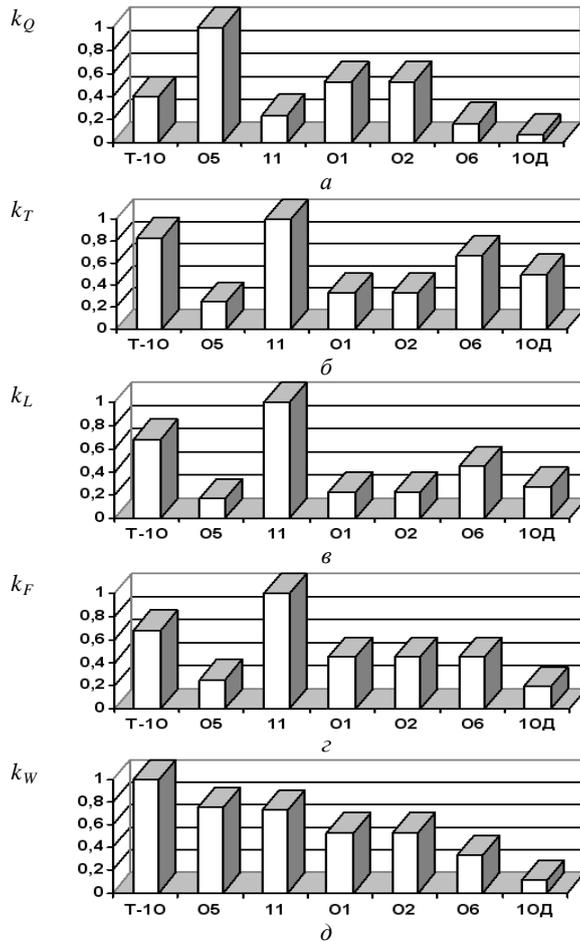
Показатель	Марка композита					
	01, 02	05	06	10Д	11	Томал-10
$k_T = k_{Tcp} = k_{T95\%}$	0,33	0,25	0,66	0,5	1	0,83
$Q = v S_o t, \text{ м}^3/\text{мин}, \cdot 10^{-6}$	12	22,5	3,75	1,68	5,5	9
k_Q	0,53	1	0,16	0,07	0,24	0,4
$L_{cp} = v T_{cp}, \text{ м}$	1500	1125	3000	1800	6600	4500
$L_{95\%} = v T_{95\%}, \text{ м}$	600	450	1200	720	2640	1800
$k_{v(v.T)}$	0,68			0,54	1	0,81
$k_{T(v.T)}$	0,33	0,25	0,66	0,5	1	0,83
$k_L = k_{Lcp} = k_{L95\%}$	0,22	0,17	0,45	0,27	1	0,68
$F_{cp}^2 = S_o v T_{cp}, \text{ м}^2, \cdot 10^{-4}$	3000	1687,5	3000	1260	6600	4500
$F_{95\%}^2 = S_o v T_{95\%}, \text{ м}^2, \cdot 10^{-4}$	1200	675	1200	504	2640	1800
$k_{S_o(S_o.L)}$	2	1,5	1	0,7	1	1
$k_{L(S_o.L)}$	0,22	0,17	0,45	0,27	1	0,68
$k_F = k_{Fcp} = k_{F95\%}$	0,45	0,25	0,45	0,19	1	0,68
$W_{cp}^3 = Q \cdot T_{cp}, \text{ м}^3, \cdot 10^{-6}$	240	337,5	150	50,4	330	450
$W_{95\%}^3 = Q \cdot T_{95\%}, \text{ м}^3, \cdot 10^{-6}$	96	135	60	20	132	180
$k_{O(O.T)}$	1,33	2,5	0,41	0,18	0,61	1
$k_{T(O.T)}$	0,4	0,3	0,8	0,6	1,2	1
$k_W = k_{Wcp} = k_{W95\%}$	0,53	0,75	0,33	0,11	0,73	1

Максимальный съем обрабатываемого материала за время рабочей жизни режущей пластины из сверхтвердого материала как рейтинговый критерий – это одновременно и минимизация затрат в расчете на объемную единицу снимаемого припуска при формообразовании изделий, максимальное использование уникальных режущих свойств сверхтвердых материалов, инструментальных композитов и режущих пластин на их основе.

Обсуждение результатов рейтинговых расчетов. Как следует из табл. 3, киборит и Томал-10 получили верхние позиции по всем относительным характеристикам, опирающимся на независимые оценки ресурса инструмента по [8], и при этом заметно выделяются по уровню оценок на фоне остальных композитов: по данным табл. 3 средняя их относительных оценок k_L , k_F и k_W (0,85) значительно превосходит среднюю оценок остальной четверки композитов (0,40), регламент стойкостных испытаний которых по [2] также исходит из безударного характера работы (см. табл. 1).

По данным табл. 3 рейтинговая линейка по k_W представляет следующую последовательность (в порядке убывания расчетных значений рейтинговой оценки): композит Томал-10 (1), композит 05 (0,75), композит 11 (0,73), композиты 01 и 02 (0,53), композит 06 (0,33), композит 10Д (0,11).

Визуализация расчетных данных по всем относительным оценкам (k_T , k_Q , k_L , k_F и k_W) в рейтинговой линейке по k_W , в выполняемом исследовании определенной иерархически предпочтительной, приведена на рис. 1.



Идентификатором T-10 на рисунке обозначен композит Томал-10

Рис. 1. Относительные показатели работоспособности сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора по производительности (k_Q), стойкости (k_T), пути резания (k_L), площади обработанной поверхности (k_F) и объемному съему (k_W) в рейтинговой линейке относительного объемного съема

Полученные из расчетной модели k_W результаты после ранжирования (рис. 1, д) отражают функциональный рейтинг рассматриваемых нитридборных композитов по критерию максимума ожидаемого съема рекомендуемой к обработке стали. Визуализация на рис. 1 результатов расчетов k_Q (рис. 1, а) и k_T (рис. 1, б) в рейтинговой последовательности композитов, определенной расчетом k_W (рис. 1, д), показывает неочевидность следования наиболее значимой рейтинговой оценки (k_W) и других ресурсных комплексов (k_L , k_F) из элементарных рейтингов k_Q и (или) k_T .

Обсуждение и перспективы развития методического подхода. Объективность обращения к избранным в рассмотренной задаче относительным оценкам в этом и подобных рассмотрениях возрастает с унификацией критерия и допустимой величины износа для пластин из разных материалов. Регламент

[2] таким унифицированным критерием во всех испытаниях определяет износ пластин по задней поверхности. Допустимая величина износа по задней поверхности (h_3) в стойкостных испытаниях определяется [2] равной, $h_3 = 0,4$ мм, вне зависимости от марки композита, угла при вершине пластины и предназначения для работы в автоматических линиях, станках с ЧПУ и ГПС, как это имеет место в регламентировании [2] контроля пластин после испытания их режущих свойств.

Разработанная система аналитических моделей в части отображений относительных оценок работоспособности инструментальных материалов и инструментов из них высших порядков (k_L , k_F и k_W) представляет собой единую системную аналитическую модель, оперирующую с отношениями абсолютных значений характеристик работоспособности, описываемых произведением функциональной скорости съема материала (линейного, поверхностного, объемного; соответственно m , m^2 и m^3 за единицу времени) на нормативную стойкость. Предложенный подход является открытым для дальнейшего совершенствования, имеет перспективу развития на своей собственной аналитической основе. Причем как в направлении создания аналитического продукта повышенного уровня обобщения, так и в направлении разработки частных аналитических решений.

Заключение. Разработан аналитический подход к рейтинговой оценке работоспособности рабочей части лезвийных инструментов.

Подход реализован в информационных базах стандартной методики стойкостных испытаний режущих пластин из сверхтвердых материалов.

В результате расчетов определены рейтинги работоспособности в группе композитов из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора (композиты 01, 02, 05, 06, 10Д, 11, Томал-10).

Полученные рейтинговые оценки могут использоваться в планировании и подготовке научно-исследовательской и производственной практики.

Список литературы: 1. Инструменты из сверхтвердых материалов : [Справочник] / Под ред. Н. В. Новикова и С. А. Клименко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с. 2. Пластины режущие сменные из сверхтвердых материалов. Технические условия : ГОСТ 28762-90 [Межгос. стандарт]. Введ. 1991-07-01. – Переизд. – М. : Стандартинформ, 2005. – 25 с. 3. ЗАО «Завод “Композит”» : [Официальный сайт ; Санкт-Петербург, Россия]. – Режим доступа : <http://www.kompozit.spb.ru>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 4. Научно-техническая фирма ООО «КНБ» : [Официальный сайт ; Москва, Россия]. – Режим доступа : <http://www.knb.su>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 5. ОАО «Московское производственное объединение по выпуску алмазного инструмента» : [Официальный сайт ; пгт Томилино, Люберецкий район, Московская область, Россия]. – Режим доступа : <http://www.tomaltools.ru>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 6. Научно-технологический алмазный концерн “АЛКОН” : [Официальный сайт ; Киев, Украина]. – Режим доступа : <http://www.alcon.com.ua>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 7. Институт физики твердого тела и полупроводников НАН РБ : [Официальный сайт ; Минск, Беларусь]. – Режим доступа : <http://www.ifttp.bas-net.by>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 8. Грановский, Г. И. Реза-

УДК 621.952

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ ПРИ МЕТАЛООБРОБЦІ

Оргіян О.А., докт. техн. наук

(Одеський національний політехнічний університет)

Бажанов О.І., Бензар А.М.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

A doslidzhennya parame-oscillations roztochuvalnih verstativ, and that skin-nada ih klasifikatsiya

В металоріжучих станках, окрім притаманним машинам загального призначення змінності жорсткості, інерційних характеристик і демпфірування, можна знайти ряд специфічних джерел не стаціонарності [1, 2]. Особливості параметричного збудження коливань попередньо знаходяться нарахуванням зворотних зв'язків в динамічній системі, і саме тому розрізняти параметричні взаємодії перш за все необхідно по належності їх елементам замкнутої системи.

Ціль роботи – вивчення джерел параметричних коливань розточувальних верстатів і проведення їх класифікації.

Модель динамічної системи будемо розглядати в вигляді, що відповідає технологічним задачам, тобто поєднання в ЕУДІС відповідну пружно-деформаційну інерційну систему в її взаємодії з процесами в двигунах і пристроях автоматичного регулювання, а також і з процесом тертя. При цьому виділяється лиш контур зв'язку ЕУДІС з процесом різання (ПР), включаючий проектуючі коефіцієнти k_c і k_k , які являються n -мірними векторами (n – кількість степенів свободи ЕУДІС).

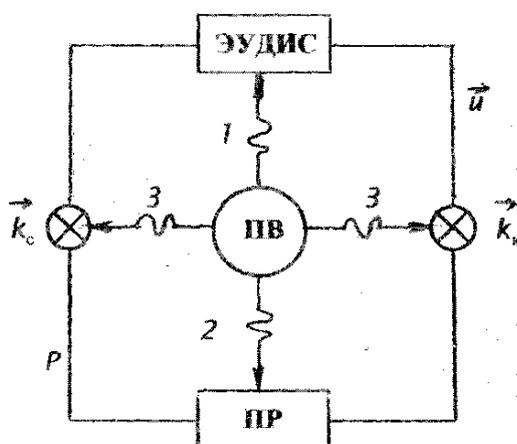


Рис. 1. Типи параметричного збудження у динамічній системі СПІД

Як показано на структурній схемі (рис. 1), за ознакою належності елементам динамічної системи параметричного збудження можна віднести до одного із трьох типів:

1) збудження параметрів ЕУДІС в наслідок змінності приведенної ваги, або жорсткості елементів системи;

2) збудження параметрів ПР в наслідок неоднорідності матеріалу деталі, що обробляється, похибки пристроїв, переривчастості поверхні, що обробляється, а також змінності швидкості різання і подачі;

3) збудження проектуючих коефіцієнтів внаслідок зміни напрямів і точок прикладання сил різання.

Наведена класифікація параметричної взаємодії за ознакою належності елементам динамічної системи дуже важлива, в першу чергу, для розробки розрахункової схеми системи. Розглядаючи різні джерела параметричного збудження коливань (рис.2), можна встановити, що їх відношення до певного типу залежить не тільки від природи збурювання параметрів, а і від характеристик, що впливають на вибір розрахункової схеми. Так змінність напрямку $\varphi(t)$ сили різання при розточуванні збуджує коливання по типу 1, якщо технологічна піддатливість системи визначається в основному шпинделем з інструментом і змінюється при обертанні, допускаючи модель УДІС з одною ступенню свободи і змінною жорсткістю. Якщо ж помітний вклад в піддатливість вносить і деталь з влаштуванням, що приводить до моделі УДІС де степенів свободи декілька, тоді обертання сили різання разом з різцем збуджує коливання по типу 3.

В залежності від співвідношення параметрів рухомої бабки і консольного столу переміщення $x(t)$ подачі при фрезеруванні породжує збудження типу 1, типу 3, або обох типів.

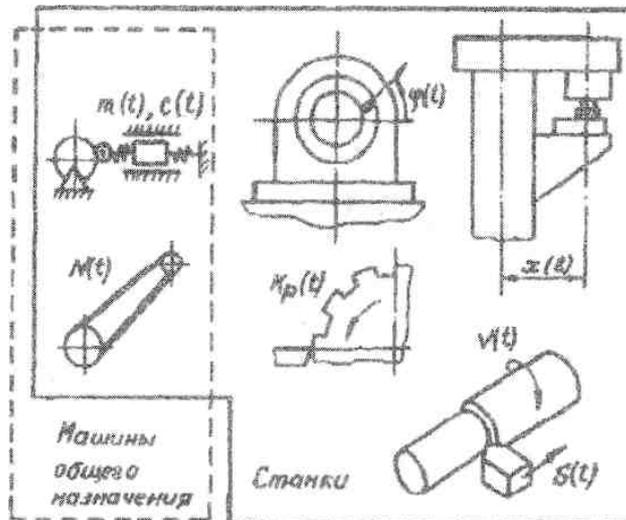


Рис. 2. Приклади джерел параметричного збудження динамічної системи СПД.

Збудження параметрів ЕУДІС виникають також в наслідок змінності передаточних функцій механізмів систем приводу робочих і допоміжних рухів, що зароджують залежність від часу наведених значень інерційних характеристик $m(t)$ і жорсткості $c(t)$. Аналогічно на параметри ЕУДІС можуть впливати змінність зусиль $N(t)$ і зусиль контакту в ременевих і зубчастих передачах, а також не стаціонарність характеристик систем автоматичного управління.

Впливи на параметри ПР особливо видні при обробці деталей з чавуну та інших не однорідних матеріалів, а також при змінному припуску на обробку, що викликаний похибкою попередньої технологічної операції і не точністю базування деталі. Обробка переривчастої поверхні супроводжується параметричними і силовими діями високої інтенсивності.

Змінність перерізу шару що зрізується призводить до залежності від часу коефіцієнта різання $k_p(t)$. Змінність шару що зрізується також може бути викликана зміною швидкостей головного руху $v(t)$ і подачі $s(t)$. При розробці розрахункової моделі системи корисно також відрізнити параметричні дії за кінематичною характеристикою руху робочих органів, що викликає змінність параметри. Збудження що залежать від лінійних і кутових переміщень, будемо називати відповідно, позиційними і орієнтаційними, а ті що залежать від зміни швидкості – швидкісними.

Вибір розрахункового методу і розробка методики експериментального дослідження багато в чому залежить від часової форми дії на динамічну схему. Класифікація за цією ознакою відповідає прийнятому в загальній теорії коливань розділенню процесів на детермінуючі (аперіодичні, гармонічні і полігармонійні) і випадкові (вузько і широко смужні). Аперіодичні зміни параметрів виникають, наприклад, при поступовому русі робочих органів станка, а також при зміні температури елементів системи СПД, що не розглядаються в даній статті. Зміна напрямку сили різання по відношенню до елементів УДІС станка при обертанні інструменту, або заготовки, викликає гармонічну дію на параметри системи. Зміна параметрів механізмів і залежність від часу коефіцієнтів різання при обробці переривчастих поверхонь частіше описується полігармонійними функціями. Вузько смужові випадкові зміни параметрів виникають через похибки форми елементів підшипників кочення, а також в ременевих і зубчатих передачах. Не однорідність матеріалу, що оброблюється, являється джерелом широко смужових випадкових збуджень параметрів процесу різання.

Таблиця 1

Класифікація параметричних впливів на систему

Ознаки, за якими класифікуються параметричні впливи	Типи впливів	Призначення класифікації
Елемент динамічної системи що зазнає впливу	– ЕУДІС – процес різання – проектуючі коефіцієнти	Розробка розрахункової схеми
Кінематична характеристика збуджень, що причиняє рух робочих органів верстату	– позиційні – орієнтаційні – швидкісні	
Тимчасова форма	– аперіодична – полігармонійна – випадкова – широко смужна	Розробка методів експерименту і розрахунку
Вплив на сталість динамічної системи	– стабілізуюче – дестабілізуюче	Оцінка реакції на вплив і розрахунок надійності

Будемо розрізнити також параметричні дії по їх впливу на стійкість динамічної системи. Зміна параметрів може бути викликана не тільки втратою стійкості, що проявляється в збудженні коливань в зонах параметричних резонансів, а і підвищення стійкості, подібно до ефекту Челомея. Відповідно, пара-

метричні взаємодії будемо називати дестабілізуючими, або стабілізуючими. Слід при цьому відмітити, що дія постійної складової сили різання призводить до виникнення коливань і в зонах параметричної стійкості, якщо змінними є параметри системи, що описують її статичні характеристики: жорсткість, коефіцієнт різання, і проектуючі коефіцієнти.

Вплив параметричних дій на показники якості верстата визначаються просторовою формою і рівнем коливань, так як і кінематичними характеристиками аперіодичних пружних переміщень, що збуджуються в УДІС. Формулюючи цілі дослідів параметричних динамічних явищ в станках, корисно розрізняти процеси що зароджують похибки обробки. Підкреслимо, що в динаміці станків перевищуючим є вплив процесів на показники точності, в той час, як для машин загального призначення характерним є вплив на міцність. Дія обох типів, в кінцевому результаті, змінює надійність станка, як технологічної системи.

Підрахунки класифікаційного аналізу параметричних впливів на систему верстата зведені в табл. 1. Таким чином в роботі вивчені джерела параметричних коливань розточувальних верстатів, а також надана їх класифікація.

Список літератури: 1. Линчевский П.А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках / П.А. Линчевский, Т.Г. Джугурян, А.А. Оргиян. – К.: Техника, 2001. – 300 с. 2. Линчевский П.А. Тонкое растачивание отверстий с прерывистой поверхностью / П.А. Линчевский, А.А. Оргиян, С.М. Онищенко // Физические и компьютерные технологии: труды 12-й Международн. научн.-техн. конф. (7-8 июня 2006 г.). – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 48-52.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ

Андилахай В.А., канд. техн. наук

(ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

Новиков Г.В., канд. техн. наук (НТК “Эльбор”, г. Харьков)

The paper theoretically proved optimal kinematics of cylindrical grinding and grinding mode settings

Введение. Нанесение на рабочие поверхности ответственных деталей износостойких наплавленных материалов стало важным фактором повышения их эксплуатационных свойств. В особой мере это относится к контактным поверхностям больших и малых конусов и чаш (диаметром соответственно 2000 и 5000 мм) засыпных аппаратов доменных печей, которые работают в условиях интенсивного износа и быстро выходят из строя. Нанесение на данные поверхности износостойких наплавленных материалов твердостью HRC 57 и более позволяет существенно повысить их надежность и ресурс работы. Однако при этом возникает проблема их высококачественной обработки на операциях

круглого шлифования [1, 2]. В связи с высокой силовой и тепловой напряженностью процесса шлифования, обеспечение требуемых показателей точности и качества обрабатываемых поверхностей в условиях съема значительных неравномерных припусков (3–7 мм на сторону) сопряжено с чрезвычайно высокой трудоемкостью обработки. Применение прогрессивного метода алмазного электроэрозионного шлифования также положительных результатов не дает, т.к. алмазный круг интенсивно засаливается и теряет режущую способность, что фактически ведет к прекращению процесса съема припуска [3]. Все это требует определения новых технологических возможностей шлифования, обеспечивающих повышение точности, качества и производительности обработки. Цель работы – теоретическое обоснование и выбор оптимальной кинематической схемы круглого шлифования и параметров режимов шлифования.

Материалы и результаты исследований. В наших работах установлено, что при плоском шлифовании по схеме выхаживания величина упругого перемещения y описывается зависимостью

$$y = \frac{t}{\varepsilon^n}, \quad (1)$$

где t – глубина шлифования, м; $\varepsilon = 1 + \frac{1}{B_1}$ – уточнение; $B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ – без-

размерный параметр; σ – условное напряжение резания (энергоемкость обработки), Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; H – ширина шлифования, м; $V_{дет}, V_{кр}$ – скорости детали и круга, м/с; n – количество проходов круга.

Как видно, увеличивая параметры ε и n , можно существенно уменьшить величину y , обеспечивая требуемую точность обработки. На основе зависимости (1) определяется основное время обработки

$$\tau = \frac{n \cdot L}{V_{дет}} = \frac{\sigma \cdot H \cdot L \cdot n}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \left(\sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} - 1 \right), \quad (2)$$

где L – длина хода круга, м; $\varepsilon_{сум} = t / y = \varepsilon^n$ – суммарное уточнение.

С увеличением n основное время обработки τ непрерывно уменьшается, асимптотически приближаясь к минимальному значению

$$\tau_{min} = \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \ln \varepsilon_{сум}. \quad (3)$$

Следовательно, существенно уменьшить основное время обработки τ (с учетом ограничения по точности обрабатываемой поверхности) можно за счет увеличения количества проходов круга $n \rightarrow \infty$ и скорости детали $V_{дет} \rightarrow \infty$. Однако реализовать на практике это условие нельзя, т.к. оба указанных параметра должны быть конечными величинами. В связи с этим произведем оценку

степени уменьшения основного времени обработки τ для конечных значений n и V_{dem} . Для этого преобразуем зависимости (2) и (3) к виду

$$\tau = \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \alpha_1, \quad (4)$$

$$\tau_{min} = \frac{\sigma \cdot H \cdot L}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \alpha_2, \quad (5)$$

где $\alpha_1 = n \cdot (\sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} - 1)$; $\alpha_2 = \ln \varepsilon_{сум}$ – безразмерные величины.

На рис. 1,а приведены расчетные значения α_1 , а также пунктирными линиями показаны значения α_2 для разных значений $\varepsilon_{сум}$, приведенных в табл. 1. Как видно, с увеличением n величина α_1 непрерывно уменьшается, асимптотически приближаясь к минимальному значению α_2 . Наиболее интенсивно происходит уменьшение величины α_1 на первых двух проходах круга. С точки зрения уменьшения основного времени обработки τ эффективно производить многопроходное шлифование, поскольку один и тот же припуск (равный глубине шлифования t) при многопроходном шлифовании можно удалить быстрее, чем при однопроходном шлифовании. С увеличением номинальной глубины шлифования t (суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$) эффект обработки усиливается, т.к. отношение наибольшего и наименьшего значений τ увеличивается.

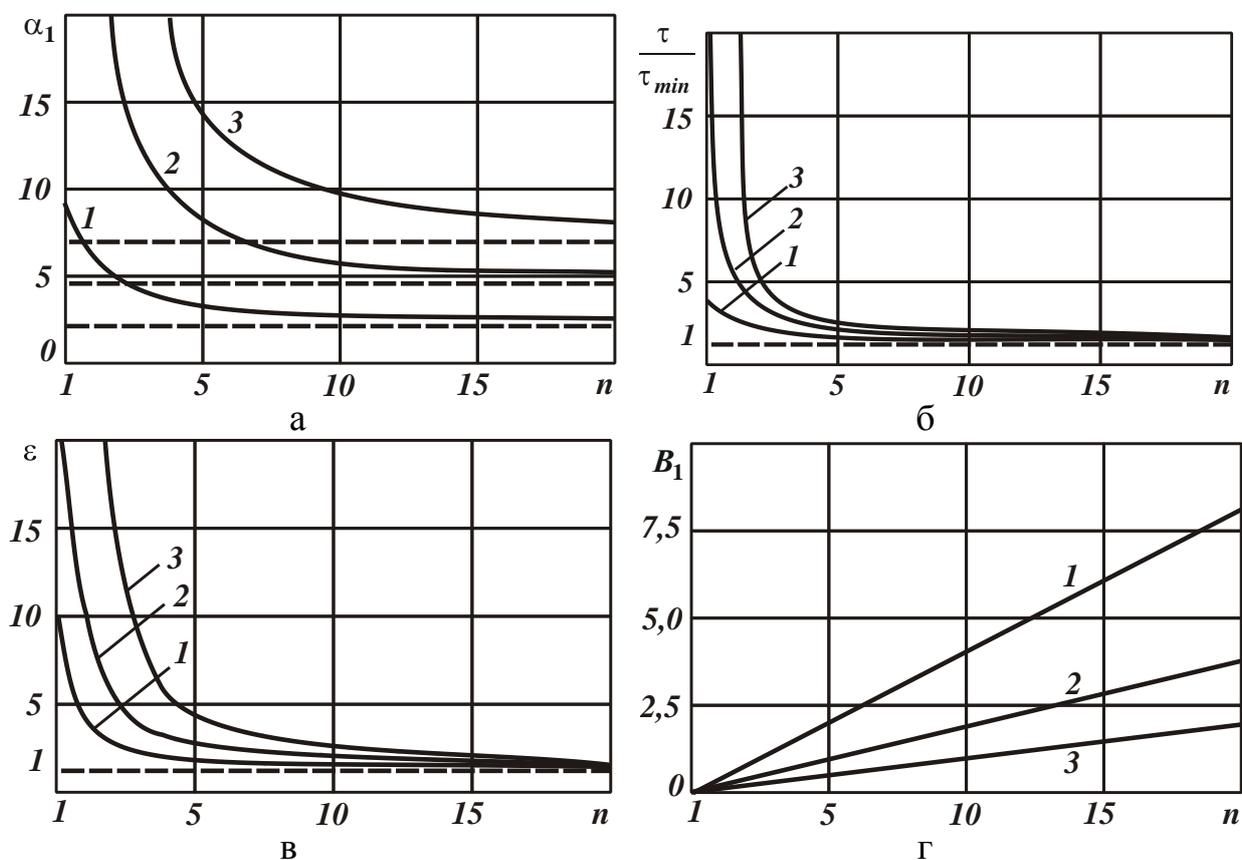


Рис. 1. Зависимости величин α_1 (а), τ/τ_{min} (б), ε (в) и B_1 (г) от n : 1 – $\varepsilon_{сум}=10$; 2 – $\varepsilon_{сум}=100$; 3 – $\varepsilon_{сум}=1000$.

С увеличением n различие значений α_1 для $\varepsilon_{сум}=10$ и $\varepsilon_{сум}=1000$ существенно уменьшается. Так, если при $n=1$ значения α_1 отличаются в 100 раз, то при достижении наименьшего основного времени обработки τ_{min} (соответствующего значению α_2) – всего в 3 раза (табл. 1). Следовательно, с целью уменьшения основного времени обработки τ съём припуска целесообразно осуществлять с максимально возможным суммарным уточнением $\varepsilon_{сум}$ и соответственно максимальной глубиной шлифования t , поскольку с увеличением t основное время обработки τ_{min} увеличивается незначительно.

Таблица 1

Расчетные значения безразмерной величины α_2

$\varepsilon_{сум}$	10	100	1000
α_2	2,3	4,6	7

На рис. 1,б приведены рассчитанные по зависимости

$$\frac{\tau}{\tau_{min}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{n \cdot (\sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} - 1)}{\ln \varepsilon_{сум}} \quad (6)$$

значения τ/τ_{min} . Как видно, с увеличением $\varepsilon_{сум}$ значения τ/τ_{min} существенно увеличиваются. Однако это происходит в небольшом диапазоне изменения количества проходов круга $n=1..4$. При дальнейшем увеличении n это отличие становится небольшим, а при $n=128$ практически исчезает.

На рис. 1,в приведены расчетные значения уточнения $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$, достигаемые на каждом проходе круга. Относительно большие значения ε реализуются на первых двух проходах. При дальнейшем увеличении n уточнение ε уменьшается и принимает весьма малые значения, близкие к единице. Это означает, что и отношение t/y на каждом проходе круга изменяется по такому же закону, т.е. величина упругого перемещения y незначительно отличается от номинальной глубины шлифования t .

Между параметрами $\varepsilon_{сум}$ и $B_1 = t_\phi / y$ существует следующая связь

$$\left(1 + \frac{1}{B_1}\right) = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} \quad (7)$$

На основе данной зависимости можно определить безразмерный параметр B_1 (рис. 1,г). Как видно, параметр B_1 изменяется в весьма больших пределах, принимая значения как меньшие, так и большие единицы. На первых двух проходах параметр B_1 меньше единицы для всех рассматриваемых значений

$\varepsilon_{\text{сум}}$. Начиная с 16 прохода, он принимает значения, большие единицы. Следовательно, на первых проходах фактическая глубина шлифования t_{ϕ} больше величины упругого перемещения y , а при дальнейшем увеличении n , наоборот, меньше величины y . Это свидетельствует о значительной доле в балансе шлифования упругих перемещений, возникающих в технологической системе.

Необходимо отметить, что безразмерный параметр B_1 позволяет принципиально по-новому раскрыть физические закономерности процесса шлифования. Данный параметр выражает связь между фактической глубиной шлифования t_{ϕ} и величиной упругого перемещения y , т.е. между параметрами, которые не задаются (как, например, параметры режима шлифования), а являются внутренними параметрами шлифования. Следовательно, безразмерный параметр B_1 является обобщающим, позволяющим установить новые внутренние связи между параметрами шлифования. Собственно, благодаря использованию безразмерного параметра B_1 получены выше приведенные решения. По сути, безразмерный параметр B_1 имеет такое же значение для теории шлифования (и в целом для технологии машиностроения) как уточнение ε . Их отличие состоит в том, что $B_1 = t_{\phi} / y$ выражает связь между фактической глубиной шлифования t_{ϕ} и величиной упругого перемещения y , а уточнение $\varepsilon = t / y$ выражает связь между номинальной глубиной шлифования t и величиной упругого перемещения y . Очевидно, рассматривая эти параметры в совокупности, появляется возможность более полного представления о физических закономерностях и технологических возможностях процесса шлифования.

Зная характер изменения параметра B_1 , можно оценить характер изменения скорости детали $V_{\text{дет}}$ в зависимости от n . Судя по приведенной выше формуле:

$B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{\text{дет}}}{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}$, скорость детали $V_{\text{дет}}$ прямо пропорционально связана с

B_1 . Поэтому с увеличением n скорость детали $V_{\text{дет}}$ также будет непрерывно увеличиваться, изменяясь в значительных пределах. Следовательно, эффект снижения основного времени обработки τ с увеличением n обусловлен увеличением $V_{\text{дет}}$, т.е. чем больше $V_{\text{дет}}$, тем выше эффект обработки. Очевидно, при съеме припуска за один проход скорость детали $V_{\text{дет}}$ будет значительно меньше, чем при многопроходном шлифовании. Из этого можно заключить, что добиться существенного уменьшения τ можно установлением максимально возможной скорости детали, реализуемой на станке. Оптимальная скорость детали $V_{\text{дет}}$ определяется из зависимости

$$V_{\text{дет}} = \frac{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{\sigma \cdot H} \cdot B_1. \quad (8)$$

Значения B_1 принимаются из рис. 1,г, а значения σ , $K_{ш}$ и c устанавливаются расчетно-экспериментальным путем. Например, для исходных данных: $B_1=1,4$; $\sigma=15000$ Н/мм²; $K_{ш}=0,3$; $c=10000$ Н/мм; $V_{кр}=30$ м/с; $H=10$ мм скорость детали $V_{дет}$ равна 50 м/мин.

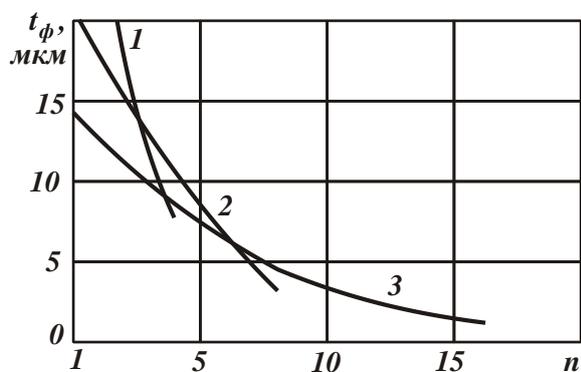


Рис. 2. Зависимость t_ϕ от n :

1 – $n=2$; 2 – $n=4$; 3 – $n=8$; 4 – $n=16$

однопроходным шлифованием ($n = 1$).

Заслуживает особого внимания тот факт, что с увеличением n наблюдается более равномерное распределение значений фактической глубины шлифования t_ϕ по проходам (рис. 2). Следовательно, с увеличением n можно обработку, по сути, производить с одинаковой фактической глубиной шлифования t_ϕ и это существенно не повлияет на минимально возможное значение основного времени обработки τ_{min} . Иными словами, появляется возможность перехода от обработки с переменной глубиной шлифования по проходам (при выхаживании) к обработке с постоянной глубиной шлифования, реализуемой при шлифовании по жесткой схеме. На основе сказанного можно заключить, что с увеличением n и скорости детали $V_{дет}$ до значений скорости круга $V_{кр}$ при обработке по схеме выхаживания и при многопроходном шлифовании по жесткой схеме можно реализовать одни и те же значения τ_{min} и величины y . Несомненно, это открывает новые возможности повышения производительности и точности обработки на финишных операциях.

Таким образом, обоснованы технологические закономерности уменьшения основного времени обработки τ при одновременном обеспечении заданной точности обрабатываемой поверхности. Полученные теоретические решения справедливы для схемы выхаживания, когда съем материала происходит без поперечной подачи под действием упруго-восстанавливающей силы, возникающей в технологической системе. Этим, собственно, и обусловлено уменьшение фактической глубины шлифования t_ϕ по проходам круга.

Используя зависимость (5), определим максимально возможную производительность обработки при шлифовании

Зная параметр ε (рис. 1,в) можно установить характер изменения по проходам круга фактической глубины шлифования t_ϕ для заданной величины y . На рис. 2 приведены расчетные значения t_ϕ для $y=10$ мкм ($\varepsilon_{сум}=10$; $t=100$ мкм). Как видно, с увеличением n фактическая глубина шлифования t_ϕ непрерывно уменьшается, принимая относительно небольшие значения при $n \geq 8$ по сравнению с

$$Q_{max} = \frac{\mathcal{G}}{\tau_{min}} = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot t}{\sigma \cdot \ln \varepsilon_{сум}} = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma} \cdot \alpha_3, \quad (9)$$

где $\mathcal{G} = L \cdot H \cdot t$ – объем снятого материала, м³; $\alpha_3 = t / \ln \varepsilon_{сум}$ – размерный параметр.

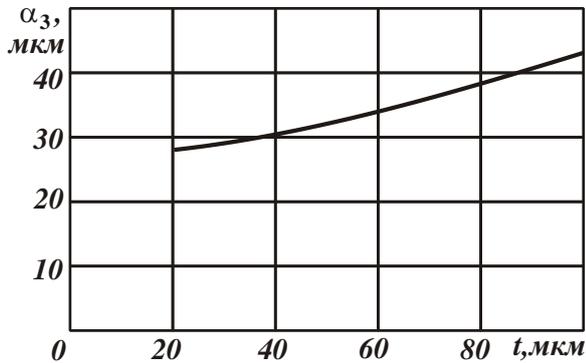


Рис. 3. Зависимость α_3 от t

метр.

По сути, Q_{max} определяет производительность многопроходного шлифования, реализуемой с достаточно высокой скоростью детали $V_{дет}$ и при достаточно большом количестве проходов круга n . Как следует из (9), а также из рис. 3, добиться увеличения Q_{max} можно увеличением параметров c , $K_{ш}$, $V_{кр}$, t , y и уменьшением σ . Эффект

увеличения Q_{max} с увеличением t обусловлен тем, что функция τ_{min} , определяемая (5), изменяется не по линейной зависимости с увеличением t . В связи с этим происходит увеличение размерного параметра α_3 с увеличением t . Поэтому с точки зрения увеличения Q_{max} при условии обеспечения заданной точности обработки (определяемой величиной y) эффективно в технологической системе создавать начальный натяг, равный величине снимаемого припуска (глубине шлифования t).

Из зависимости (9) следует, что чем меньше величина упругого перемещения y , тем меньше Q_{max} . Это указывает на то, что чем выше требования к точности обработки, тем меньше Q_{max} .

Как отмечалось выше, данное теоретическое решение получено применительно к схеме выхаживания, когда фактическая глубина шлифования $t_{ф}$ уменьшается с увеличением n (рис. 2) и при $n \geq 8$ принимает относительно небольшие значения, характерные для многопроходного шлифования. При этом значения $t_{ф}$ более равномерно распределяются по проходам круга. Используя данное решение, можно (в первом приближении) перейти от схемы выхаживания (с переменной по проходам $t_{ф}$) к жесткой схеме многопроходного шлифования, реализуя на каждом проходе одинаковую глубину шлифования. Очевидно, чем меньше будет глубина шлифования на каждом проходе и соответственно больше $V_{дет}$, тем меньше будет расхождение достигаемого основного времени обработки τ с минимальным значением τ_{min} и больше производительность. Увеличивая $V_{дет}$ до значения скорости круга ($V_{дет} \rightarrow V_{кр}$), можно выполнить условие $\tau \rightarrow \tau_{min}$. Практически реализовать данное условие можно, применяя схему многопроходного врезного шлифования всей шириной круга или схему продольного глубинного шлифования с весьма малой долевой про-

дольной подачей $S_\delta \ll 1$. Используя, например, схему глубинного шлифования, можно практически весь припуск удалить за один проход, устанавливая глубину шлифования t , равной величине снимаемого припуска. В этом случае глубина шлифования, приходящаяся на один оборот детали (при круглом наружном шлифовании), будет значительно меньше установочной глубины шлифования t , равной величине снимаемого припуска.

Необходимо отметить, что случай однопроходного шлифования ($n=1$), согласно рис. 1,а, может быть реализован на практике путем применения схемы глубинного шлифования с относительно небольшой скоростью детали $V_{дет} \ll V_{кр}$ и соответственно $S_\delta=1$. По сравнению со схемой продольного глубинного шлифования с $V_{дет} \rightarrow V_{кр}$ и $S_\delta \ll 1$, данная схема характеризуется меньшей производительностью обработки, т.к. основное время обработки τ больше (рис. 1,а).

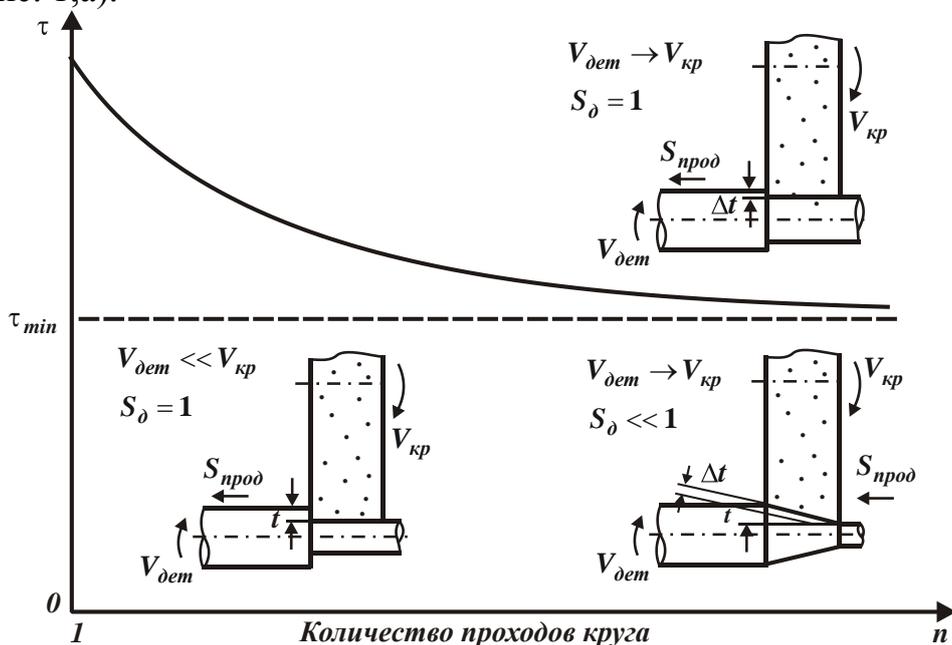


Рис. 4. Расположение трех принципиальных схем шлифования по уровню достигаемого основного времени обработки τ .

На рис. 4 схематично показано расположение трех рассмотренных (принципиальных) схем шлифования по уровню достигаемого основного времени обработки τ (при условии обеспечения заданной точности обработки). Очевидно, наименьшее основное время обработки $\tau \rightarrow \tau_{min}$ достигается при продольном глубинном шлифовании с $S_\delta \ll 1$ и врезном многопроходном шлифовании всей шириной круга ($S_\delta=1$) с относительно большой скоростью детали $V_{дет} \rightarrow V_{кр}$. Глубинное шлифование с $S_\delta=1$ и относительно небольшой скоростью детали $V_{дет} \ll V_{кр}$ характеризуется значительно большим основным временем обработки τ и меньшей производительностью обработки.

Полученная применительно к упругой схеме выхаживания зависимость (9) для определения Q_{max} , будет справедлива и при шлифовании по жесткой схеме, т.к. данная схема также характеризуется конечной жесткостью технологической системы c . Производительность обработки при врезном многопроходном шлифовании с $S_\delta=1$ описывается зависимостью

$$Q_{max} = H \cdot V_{дет} \cdot \Delta t, \quad (10)$$

где Δt – номинальная глубина шлифования, м.

Рассматривая в зависимости (9) установочную глубину шлифования t (по аналогии с процессом выхаживания) как условный начальный натяг, создаваемый в технологической системе, справедливо соотношение $\Delta t = t/n$. Скорость детали в данном случае определяется (8), в которой параметр B_1 задан. Следовательно, неизвестным параметром режима шлифования остается лишь параметр H , который можно установить, подставляя зависимость (10) в (9):

$$H = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot n}{\sigma \cdot V_{дет} \cdot \ln \varepsilon_{сум}}. \quad (11)$$

Чем больше n , тем больше H . С увеличением t (соответственно суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$) ширина шлифования H уменьшается, однако не столь существенно в силу нелинейности функции $\ln \varepsilon_{сум}$. При продольном глубинном шлифовании справедлива зависимость $Q_{max} = S_\delta \cdot H \cdot V_{дет} \cdot t$. Подставляя данную зависимость в (9) с учетом $n = 1/S_\delta$, имеем

$$H = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot S_\delta \cdot V_{дет} \cdot \ln \varepsilon_{сум}} = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot n}{\sigma \cdot V_{дет} \cdot \ln \varepsilon_{сум}}. \quad (12)$$

Зависимости (11) и (12) идентичны. Следовательно, с точки зрения производительности обработки обе рассматриваемые схемы круглого наружного шлифования равносильны, т.е. с одинаковой эффективностью можно применять как схему продольного глубинного шлифования, так и схему врезного многопроходного шлифования. Из зависимости (9) также следует, что увеличивая параметры c , $K_{ш}$, $V_{кр}$, t и уменьшая условное напряжение резания σ для

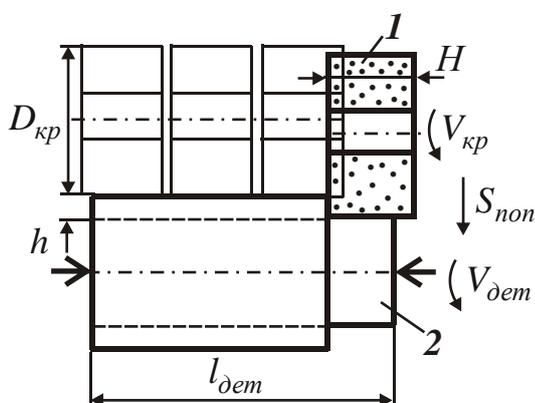


Рис. 5. Схема шлифования последовательными врезаниями – с радиальной подачей
уступами: 1 – круг; 2 – деталь

заданной величины упругого перемещения u , можно существенно увеличить производительность обработки. Как показано выше, при условии $S_\delta \approx 1$ реализуется схема круглого наружного врезного многопроходного шлифования всей шириной круга, что позволяет поддерживать прямолинейную направляющую круга, и повышает точность и шероховатость обработки. По данной схеме можно производить шлифование последовательными врезаниями –

с радиальной подачей уступами, обрабатывая последовательно все участки поверхности (рис. 5). Таким образом, теоретически обоснована возможность повышения точности и производительности обработки на основе применения кинематической схемы круглого наружного продольного глубинного шлифования с долевым продольным подачей, значительно меньшей единицы, и скоростью детали, соизмеримой со скоростью круга.

Список литературы: 1. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий – К.: Общество “Знание” УССР, 1987. – 23 с. 2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 / Одес. политехн. ун-т. – Одесса, 1990. – 19 с. 3. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – К.: Наук. думка, 1994. –180 с. 4. Новиков Ф.В. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования плоских и внутренних цилиндрических поверхностей деталей / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 101. – С. 28-39. 5. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 / Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРОВ

Ковальчук А.Н., канд. техн. наук, **Бережной Р.А.**, канд. техн. наук,
Нежебовский В.В., канд. техн. наук
(*ПАО Харьковский машиностроительный завод “Свет шахтера”*)

The effectiveness of treatment of internal cylindrical surfaces of details of reducers under elastic grinding circuit with periodic creation of a technological-tion system tightness, multiples shoot allowance

Введение. При финишной обработке внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин возникает ряд сложных проблем, связанных, прежде всего, с высокой трудоемкостью обеспечения требуемых параметров точности обработки, включая точность размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, а также шероховатость поверхности. Это относится к широко применяемым на практике процессам внутреннего шлифования, хонингования, притирки и другим процессам, составляющим основу финишной обработки деталей машин [1,2]. Применение современных абразивных инструментов и станков не всегда позволяет решить данные проблемы, трудоемкость финишных операций по-прежнему остается относительно высокой и требует изыскания эффективных методов ее снижения. В особой мере это относится к операциям

шлифования внутренних цилиндрических поверхностей зубчатых колес, сателлитов, втулок и других деталей редукторов, изготавливаемых в ПАО ХМЗ “Свет шахтера” для приводов шахтных конвейеров (рис. 1). Диаметры обрабатываемых отверстий изменяются в пределах 50...400 мм, а длины отверстий – в пределах 150...320 мм. Отверстия зубчатых колес изготавливаются как с пазами (6–10 пазов шлицевого соединения с центрированием по ” d ” и 1–2 паза шпоночного соединения), так и без пазов. Отверстия втулок и сателлитов изготавливаются без пазов. Удельный вес деталей редукторов с отверстиями, не имеющими пазов, в общем объеме обрабатываемых деталей редукторов составляет свыше 80%. Это указывает на необходимость совершенствования, прежде всего, операций круглого внутреннего шлифования деталей редукторов с отверстиями, не имеющими пазов. Естественно, наличие пазов в отверстиях деталей приводит к еще более высокой трудоемкости операций круглого внутреннего шлифования.



а



б

Рис. 1. Зубчатые колеса (а) и сателлиты редукторов (б)

К точности изготовления внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов предъявляются достаточно высокие требования: на уровне 6–7 квалитета, радиальное биение – до 0,01 мм. Требуемая шероховатость поверхности – $R_a \leq 0,63$ мкм. Детали редукторов изготавливаются из сталей 18ХГН2МФБ (твердостью HRC 57...63), 20ХН3А, 40Х и других (твердостью HRC 30...55), которые перед шлифованием подвергаются термической обработке и другим видам



Рис. 2. Шлифование сателлита на внутришлифовальном станке мод. 3К228А.

поверхностного упрочнения. При этом снимаемый припуск на диаметр до 1 мм. Финишная обработка внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов производится по схеме круглого внутреннего продольного многопроходного шлифования (рис. 2). Геометрические характеристики абразивных кругов: 100x20x63 (ГОСТ 2424-80); 80x20x50; 80x20x63; 32x10x32. Обработка производится ”всухую” (без применения СОЖ).

Используемые режимы резания: скорость круга – 30...35 м/с (не более); скорость детали – 20...40 м/мин; продольная подача – при черновом шлифовании $(0,4...0,7) \cdot H$ и при чистовом шлифовании $(0,25...0,4) \cdot H$, где H – высота круга. Перебег круга – до 1/2 высоты круга. При черновом внутреннем шлифовании удаляется припуск 0,3–0,4 мм на сторону, а при чистовом шлифовании – до 0,1 мм на сторону. Заключительным переходом операций шлифования является выхаживание. При этом время, затрачиваемое на выхаживание, сопоставимо с суммарным временем, затрачиваемым на черновое (до 10 минут) и чистовое (до 15 минут) шлифование, и составляет до 20 минут и более.

Как показывает практика круглого внутреннего шлифования деталей редукторов, обеспечение требуемых параметров точности и качества обработки путем реализации данных условий шлифования на действующем оборудовании связано с высокой трудоемкостью обработки. Длительность операции шлифования зубчатого колеса (сателлита, втулки и т.д.) составляет до трех часов и более. Вполне очевидно, что это весьма большое время обработки и вызвано исключительно проблемой обеспечения требуемой точности обработки. В связи с этим возникает необходимость уменьшения продолжительности обработки при обеспечении заданной точности обрабатываемых поверхностей.

Цель работы – разработка и внедрение эффективной технологии шлифования внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов.

Материалы и результаты исследований. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что жесткость технологической системы при шлифовании внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов приводов шахтных конвейеров незначительна и изменяется в пределах до $2,6 \cdot 10^6$ Н/м. Экспериментально установлено также, что при круглом внутреннем шлифовании по жесткой схеме в связи с низкой жесткостью технологической системы величина упругого перемещения с течением времени обработки неограниченно увеличивается. Это требует периодического осуществления процесса выхаживания с

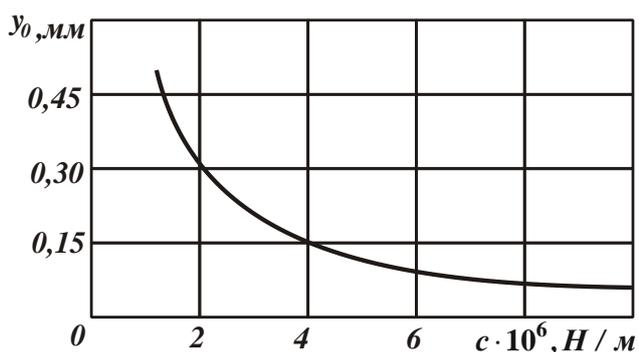


Рис. 3. Зависимость предельных значений начальных натягов y_0 от жесткости технологической системы c

целью уменьшения образующихся упругих перемещений, что резко снижает производительность обработки. В работе [3] показано, что в этих условиях целесообразно обработку вести по упругой схеме шлифования с начальным натягом, равным или кратным величине снимаемого припуска (т.е. по схеме выхаживания с отключенной радиальной подачей). Применение данной схемы шлифования позволяет существенно повысить

производительность обработки. При этом эффективность обработки возрастает с увеличением снимаемого припуска. В связи с этим, данная схема обработки положена в основу разработки эффективной технологии шлифования внутрен-

них цилиндрических поверхностей деталей редукторов приводов шахтных конвейеров. На основании проведенных экспериментальных исследований определены предельные значения начальных натягов y_0 , которые могут быть реализованы при круглом внутреннем шлифовании, в зависимости от жесткости технологической системы c (рис. 3).

Опытами установлено, что съем припуска величиной 0,5 мм на сторону может быть произведен за три перехода. На первом переходе в технологической системе создается начальный натяг величиной 0,25 мм, и обработка осуществляется фактически до момента прекращения искрения в зоне резания. При этом обеспечивается точность размера обрабатываемой поверхности на уровне 10–20 мкм. На втором переходе в технологической системе повторно создается натяг величиной 0,25 мм и обработка опять же производится до момента прекращения искрения в зоне резания. Затем оставшийся припуск величиной до 20 мкм удаляется на третьем переходе по схеме выхаживания (рис. 4).

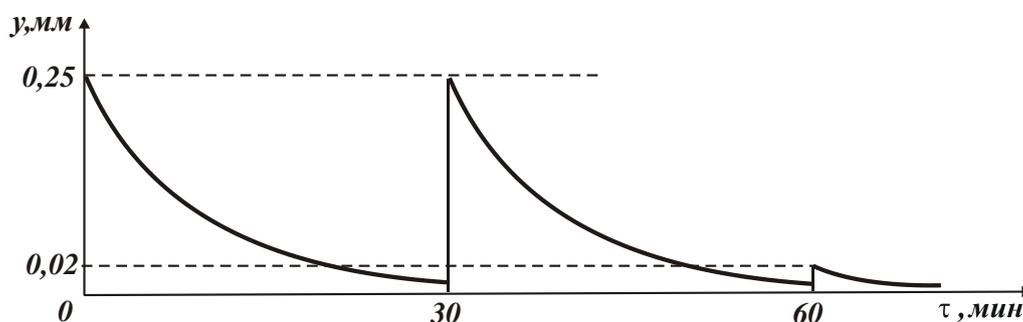


Рис. 4. Характер изменения величины упругого перемещения y с течением времени обработки τ (по переходам)

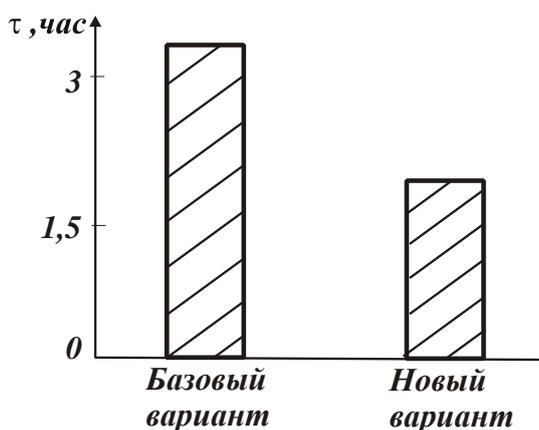


Рис. 5. Время обработки τ для базового и нового вариантов

В результате реализации данной технологии круглого внутреннего шлифования производительность обработки увеличилась почти в 2 раза. Продолжительность обработки уменьшилась до 2 часов (рис. 5). При этом обеспечивается требуемая точность обработки – в пределах 10 мкм и шероховатость поверхности – в пределах $R_a < 0,63$ мкм (рис. 6).

При внутреннем продольном шлифовании по жесткой схеме (по базовой технологии шлифования) требуемая шероховатость поверхности ($R_a = 0,63$ мкм) на переходе черного шлифования не обеспечивается, она достигается лишь на переходе выхаживания. Как следует из рис. 6, с течением времени обработки τ параметр шероховатости поверхности R_a при внутреннем шлифовании по упругой схеме (с начальным натягом $y_0 = 0,25$ мм) уменьшается, а при внутреннем продольном шлифовании по жесткой схеме первоначально увеличивается, а затем фактиче-

ски стабилизируется, принимая значения больше 0,6 мкм. Такой характер изменения параметра R_a обусловлен характером изменения величины упругого перемещения y , возникающего в технологической системе.

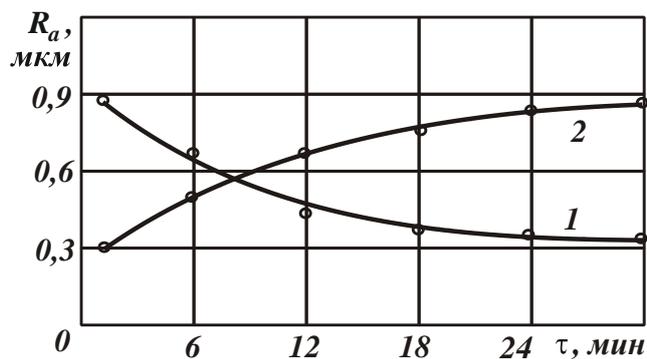


Рис. 6. Зависимость R_a от τ при круглом шлифовании по упругой (1) и жесткой (2) схемам

Так, экспериментально установлено [4], что при внутреннем шлифовании по упругой схеме (т.е. по схеме выхаживания) величина y с течением времени обработки τ непрерывно уменьшается, вызывая уменьшение толщин среза отдельными зернами круга и соответственно параметра R_a . При внутреннем продольном шлифовании по жесткой схеме величина y во времени τ увеличивается, вызывая увеличение

силы резания, толщин среза и соответственно параметра R_a . Причем, в связи с низкой жесткостью технологической системы стабилизация величины y во времени фактически не происходит, что приводит к увеличению R_a .

Экспериментально установлено, что при внутреннем шлифовании по упругой схеме с начальным натягом y_0 , кратным величине снимаемого припуска, в технологической системе фактически отсутствуют колебания, тогда как при внутреннем продольном многопроходном шлифовании по жесткой схеме они имеют место, увеличиваясь с течением времени обработки по мере роста упругих перемещений. Возникновение колебаний в технологической системе требовало, по сути, прекращения процесса шлифования. В результате приходилось периодически переходить на выхаживание, чтобы устранить упругие перемещения и соответственно колебания в системе.

Съем припуска по упругой схеме внутреннего шлифования с начальным натягом, кратным величине снимаемого припуска, не требуют частого контроля размера обрабатываемой поверхности, тогда как при шлифовании по жесткой схеме в связи с возникающими значительными упругими перемещениями контроль производится довольно часто, что весьма трудоемко и занимает много времени. Этим можно объяснить тот факт, что переход от жесткой схемы шлифования к упругой схеме с начальным натягом, кратным величине снимаемого припуска, наряду с увеличением производительности обработки, обеспечивает высокие показатели точности и качества обрабатываемой поверхности. Существенно уменьшилось также время охлаждения обрабатываемой детали после шлифования. Как отмечалось выше, охлаждение осуществляется без съема нагретой детали со станка с целью устранения ее термоупругих деформаций и повышения таким образом точности обработки (рис. 7). Это свидетельствует об уменьшении выделяемого при резании тепла и температуры шлифования.

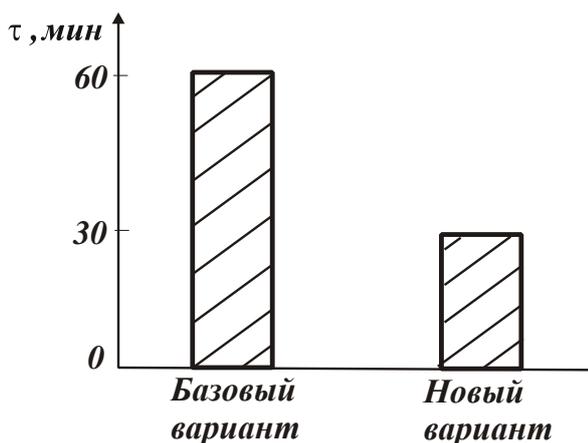


Рис. 7. Время τ охлаждения детали после шлифования для базового и нового вариантов

Экспериментально установлено, что при шлифовании по упругой схеме на обработанных внутренних цилиндрических поверхностях деталей редукторов отсутствуют прижоги и микротрещины. Микротвердость обработанной поверхности фактически соответствует микротвердости поверхности до ее обработки, что свидетельствует о незначительном влиянии температурного фактора на формирование параметров качества обработки.

Проведены экспериментальные исследования износа абразивного круга.

Установлено, что размерный износ круга при обработке одного зубчатого колеса составляет 0,2 мм. Продолжительность работы круга до его полного износа составляет 1–1,5 месяца при условии обработки пяти зубчатых колес в смену. Это в среднем на 30% больше, чем при обработке зубчатых колес по базовой технологии, т.е. расход кругов сократился приблизительно на 30%.

С целью повышения производительности обработки были испытаны импрегнированные (соединениями на основе стеарина) абразивные круги, которые характеризуются высокой режущей способностью и обеспечивают снижение интенсивности трения в зоне резания. Установлено, что в этом случае при внутреннем шлифовании по упругой схеме производительность обработки может быть увеличена на 20–25% за счет уменьшения силовой напряженности процесса резания.

Выводы. На основе полученных результатов разработана и внедрена ПАО ХМЗ “Свет шахтера” эффективная технология финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов шахтных конвейеров, обеспечивающая увеличение производительности обработки и стабильное выполнение требований по точности и качеству обрабатываемых поверхностей. Это позволило повысить конкурентоспособность изготавливаемых редукторов приводов шахтных конвейеров по сравнению с зарубежными аналогами.

Список литературы: 1. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки / И.П. Захаренко. – К.: Техніка, 1980. – 212 с. 2. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.7. “Точность обработки деталей машин” – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 4. Новиков Ф.В. Повышение эффективности шлифования внутренних цилиндрических поверхностей зубчатых колес / Ф.В. Новиков, С.А. Дитиненко, Р.А. Бережной // Физические и компьютерные технологии: труды 16-й Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2010. – С. 17-23.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ШЛИФОВАНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА МИКРОРЕЗАНИЕМ ЕДИНИЧНЫМ ЗЕРНОМ В ОРГАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

Новиков С.Г., канд. техн. наук

(Институт социального образования (филиал) Российского государственного
социального университета, г. Курск)

Малыхин В.В., канд. техн. наук

(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Глаголев Р.В., канд. с.-х. наук

(Институт социального образования (филиал) Российского государственного
социального университета, г. Курск)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет им. Семена Кузнеця)

Proposed rapid method of selecting parameters of grinding material to be treated in a single grain of organic binder

Задача выбора с минимальными затратами времени параметров обработки при запуске в производство нового материала или шлифовального инструмента является весьма актуальной. Рассмотрим разработанный нами экспериментальный экспресс-способ подбора оптимальных режимов шлифования.

Известна модель удержания алмазно-абразивного зерна в органических связках шлифовального инструмента, включающая два обратных круговых конуса с общим основанием, которое в диаметрально противоположных точках в плоскости действия радиальной и тангенциальной составляющих силы резания размещено на двух параллельных пружинах, расположенных со стороны органической связки в направлении радиальной составляющей силы резания, причем одна из диаметрально противоположных точек основания, удаленная от оси симметрии конусов в направлении тангенциальной составляющей, выполнена в виде шарнирной подвижной опоры, с возможностью перемещения в направлении радиальной составляющей силы резания [1].

Недостатком является то, что приведенная модель не позволяет визуально наблюдать за изменением угла поворота $0 < \alpha < \alpha_{max} = \gamma - \arctg(k_{uu} + f)$ алмазно-абразивного зерна в органической связке шлифовального инструмента и контролировать время достижения в зависимости от параметров резания положения зерна, задаваемого углом α .

Известен способ обработки материалов на профилльно-шлифовальном станке с экраном, при котором обрабатываемая деталь закрепляется на координатном столе, имеющем продольное, поперечное и вертикальное перемещения под объективом оптического устройства, содержащего осветителя, систему

линз, призм, зеркал и экран, с закрепленным на нем чертежом профиля детали, выполненного в заданном масштабе, обработку материала производят шлифовальным кругом на шпинделе в перемещающейся шлифовальной головке относительно профиля детали, при этом режущая кромка шлифовального круга должна все время точно совпадать с соответствующей точкой спроектированного оптической системой увеличенного изображения этого профиля, совмещенного с профилем чертежа на экране [2].

Способ имеет следующие недостатки:

1. Ограниченные технологические возможности, связанные с тем, что нельзя проектировать на экран режущую часть единичного зерна шлифовального круга, так как оно размещено в органической связке большого массива окружающих зерен, кроме того, шпиндель с шлифовальным инструментом вращается с большой частотой, а шлифовальная головка совершает возвратно-поступательное движение, это не позволяет добиться неподвижности зерна на экране.

2. Невозможен выбор оптимальных режимов шлифования по времени достижения единичным зерном конечного положения, заданного углом поворота зерна в органической связке шлифовального инструмента из начального положения до контактирования с обрабатываемым материалом.

Технической задачей предлагаемого нами экспресс-способа контроля режимов

микрорезания обрабатываемого материала единичным зерном в органической связке является расширение технологических возможностей обработки и быстрый выбор оптимальных режимов шлифования.

На рис. 1 приведена схема осуществления способа при поступательном перемещении плоской детали. Обрабатываемая деталь 1 закреплена на координатном столе, имеющем продольное, поперечное и вертикальное перемещения под объективом оптического устройства. Шлифовальный инструмент на шпинделе 2 в шлифовальной головке составлен из единичного зерна 3 в органической связке 4, размещенного в державке-инденторе 5, установленной на цилиндрической поверхности специального круга 6 (координатный стол и шлифовальная головка на рис. 1 не показаны).

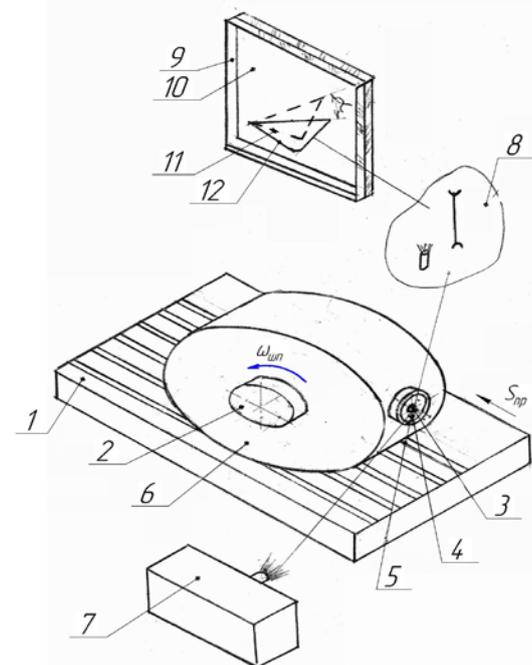


Рис. 1. Схема контроля параметров шлифования микрорезанием единичным зерном в органической связке

ной шлифовальной головкой и продольной подачей координатного стола в стробоскопическом эффекте при совпадении частотных характеристик син-

хронных вспышек стробоскопа 7 и вращающегося шпинделя 2. Оптическим устройством 8, содержащим осветители, систему линз, призм, зеркал, на экран 9 с закрепленным на нем чертежом 10 спроектирована конусная форма режущей части единичного зерна 3 с изображением на чертеже 10 в заданном масштабе внешних контуров его начального положения 11 (штриховая линия) до контактирования с деталью 1 и конечного положения 12 (сплошная основная линия), по наибольшему времени достижения в конечном положении 12 заданного угла поворота α зерна 3 в органической связке 4 подобраны режимы микрорезания. Способ осуществляется следующим образом.

Предварительно из одной партии отбирают алмазно-абразивные зерна одинакового размера с режущей частью в форме конуса со скругленной вершиной. Каждое отобранное зерно 3 размещают в органической связке 4, заполняющей определенный объем державки-индентора 5. После отвердевания связки державку-индентор 5 с единичным зерном 3 в органической связке 4 жестко устанавливают на периферии цилиндрической поверхности специального круга 6, например, завинчиванием или посадкой с натягом нижней части державки-индентора 5 в специальный круг 6. Сформированный шлифовальный инструмент монтируют на шпинделе 2 в шлифовальной головке. Обрабатываемую плоскую деталь 1 закрепляют на координатном столе, имеющем продольное, поперечное и вертикальное перемещения под объективом оптического устройства 8, содержащего осветители, систему линз, призм, зеркал и экран 9 с фиксированием на нем чертежа 10, которое может быть произведено расположением чертежа 10 между двумя экранными стеклами, наклеиванием его на экран 9, ориентированием в трафарете и т.д. На чертеже 10 в заданном увеличенном масштабе изображают внешние контуры конусов режущей части единичного зерна 3 в начальном и конечном положениях 11,12. Начальное положение 11 соответствует единичному зерну 3 до контактирования с деталью 1 в непосредственной близости от места его выхода из вертикальной нижней позиции. Конечное положение 12 задают углом поворота α зерна 3 в органической связке 4: $\alpha < \alpha_{\max} = \gamma - \arctg(K_{\text{ш}} + f)$, где α_{\max} - угол вырывания алмазно-абразивного зерна из органической связки; γ - половина угла при вершине конуса режущей части единичного зерна; $K_{\text{ш}}$ - коэффициент шлифования; f – коэффициент трения скольжения зерна с обрабатываемой поверхностью.

Источниками света (лампами) освещают зерно 3, деталь 1, чертеж 10 и через оптическое устройство 8 проектируют конусную форму режущей части единичного зерна в виде четкой тени на экран 9. Без включения электродвигателя вручную проворачивают шлифовальный инструмент и совмещают четкую тень с начальным положением 11 единичного зерна 3 на чертеже 10.

Задают режимы микрорезания – царапания обрабатываемого материала: частоту вращения шлифовального инструмента на шпинделе 2; продольную подачу детали 1; глубину микрорезания. Продольным и поперечным перемещениями координатного стола подводят деталь 1 к шлифовальному инструмен-

ту, вертикальным перемещением устанавливают глубину обработки. Включают электродвигатель с необходимой частотой вращения шпинделя 2, и стробоскопом 7 добиваются совпадения частотных характеристик синхронных вспышек стробоскопа 7 и вращающегося шпинделя 2 с шлифовальным инструментом, совмещают тень от режущей части единичного зерна 3 на экране 9 с внешним контуром конуса начального положения 11 на чертеже 10. Тогда в стробоскопическом эффекте тень зерна 3 «замирает» на внешнем контуре начального положения 11 на чертеже 10 при вращающемся шпинделе 2. Заданную продольную подачу детали 1 производят продольным перемещением координатного стола при неподвижной шлифовальной головке. С момента контактирования единичного зерна 3 с обрабатываемым материалом начинают хронометраж времени, а на экране 9 визуальнo наблюдают за изменением угла поворота зерна 3 в органической связке 4 по движению его тени, ранее до начала обработки, находившейся в покое. Тень поворачивается в одном направлении, не возвращаясь в начальное положение 11, так как шпиндель 2 вращается с большой частотой, а зерно 3 инерционно, поэтому оно не совершает колебательное движение из текущего промежуточного положения к вертикальной нижней позиции и обратно, кроме того, режущая часть зерна 3 экспонируется на экран 9 в непосредственной близости от места его выхода после контактирования с деталью 1. При достижении тенью конечного положения 12, заданного углом α на чертеже 10, останавливают отсчет времени и фиксируют станочное время микрорезания-царапания материала единичным зерном в органической связке 4. Если же единичное зерно 3 прошло всю деталь по длине, но тень его режущей части не достигла заданного угла α , то есть не совместилась с конечным положением 12 на чертеже 10, то время останавливают после прохода зерном 3 всей детали 1, прекращают и ее продольную подачу. Возвращают деталь 1 в первоначальное положение перед микрорезанием, поперечным перемещением координатного стола смещают след от царапания, при начале микрорезания включают новый отсчет времени до момента достижения тенью зерна 3 конечного положения 12, заданного углом α . Фиксированное время суммируют с ранее получаемым, этим учитывают только чистое станочное время микрорезания материала T_1 .

Замеры времени можно производить секундамерами, последовательно включая и выключая их с суммированием значений, использовать конструкцию шахматных часов, когда шахматист последовательным нажатием на кнопку суммирует затраченное время на обдумывание ходов, в нашем же случае очередное нажатие кнопки показывает суммарные затраты времени на микрорезание материала, или применять автоматизированные системы контроля отсчета необходимого времени.

Для исключения случайных погрешностей измерения времени находят среднее арифметическое значение из трех измерений. Для этого при тех же самых заданных режимах микрорезания-царапания материала проводят еще два измерения. Из специального круга 6 вывинчиваем или выпрессовкой освобождают державку-индентор 5 с изношенным единичным зерном 3 в органической

связке 4. На цилиндрической поверхности специального круга 6 в освобожденном гнезде размещают другую ранее заготовленную *державку-индентор* 5 с размещенным в ней новым единичным зерном 3 в органической связке 4. В той же последовательности производят измерение чистого станочного времени T_2 . В третий раз заменяют единичное зерно 3 замеряют время T_3 обработки материала, после чего определяют первое среднее арифметическое время обработки:

$$T_{cp1} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}.$$

Изменяют один или несколько режимов микрорезания детали. Каждый раз с новыми державкой-индентором 5 и единичным зерном 3 в органической связке 4 троекратно повторяют микрорезание - царапание материала и находят значения времени T'_1, T'_2, T'_3 и их среднее значение

$$T_{cp2} = \frac{T'_1 + T'_2 + T'_3}{3}.$$

Вновь задают параметры обработки, определяют T''_1, T''_2, T''_3 и $T_{cp3} = \frac{T''_1 + T''_2 + T''_3}{3}$ и т.д. Из найденных средних значений времени выбирают максимальное значение $T_{cp_{max}}$ поворота единичного зерна 3 в органической связке 4 на заданный угол α . Режимы микрорезания при выбранном времени и будут являться оптимальными и определены при малых трудозатратах.

Так как единичные зерна и органическая связка, с которыми проводилось микрорезание, соответствуют реальному шлифовальному инструменту, например, шлифовальному кругу, то оптимальные режимы микрорезания при $T_{cp_{max}}$ можно рекомендовать и для выбора оптимальных режимов шлифования данного материала шлифовальным кругом.

Оригинальностью предложенного способа экспресс-контроля микрорезания материала единичным зерном в органической связке является то, что обработку детали 1, закрепленной на координатном столе, производят при его продольной подаче и неподвижной шлифовальной головке шлифовальным инструментом, состоящим из единичного зерна 3 в органической связке 4, размещенных в державке-инденторе 5, установленной на цилиндрической поверхности специального круга 6, причем обработку осуществляют в стробоскопическом эффекте при совпадении частотных характеристик синхронных вспышек стробоскопа 7 и вращающегося шпинделя 2 с шлифовальным инструментом, на экран 9 оптическим устройством 8 проектируют конусную форму режущей части единичного зерна 3 с изображением на чертеже 10, зафиксированном на экране 9, внешних контуров его начального до контактирования с деталью 1 и конечного положений 11,12, по наибольшему времени достижения в конечном положении 12 заданного угла поворота α зерна 3 в органической связке 4 подбирают режимы микрорезания (заявка на изобретение №2013146710; заявл. 22.10.2013).

Оригинальность и новизна предложенного технического решения позволили подать заявку на предполагаемое изобретение.

Таким образом, предложенный способ позволяет достичь технического результата по расширению технологических возможностей обработки и быстрому выбору оптимальных режимов шлифования.

При незначительной модернизации станка данные способы можно использовать и при круглом шлифовании вращающихся деталей.

Список литературы: 1. Патент на полезную модель 63283 Рос. Федерация: МПК В24Д 3/00. Модель удержания алмазно-абразивного зерна в органических связках шлифовального инструмента / Новиков С.Г., Малыхин В.В. №20061420022/22; заявл. 27.11.2006; опубл. 27.05.2006, Бюл. №15, 1 с.: ил. 2. Металлорежущие станки / Коллектив авторов под ред. проф. В.К. Тепинкичиева. – М.: Машиностроение, 1973. – 290 с.

УДК 621.923

ВЫБОР ВАРИАНТА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ ПНЕВМО- И ГИДРОАППАРАТУРЫ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ

Брижан Т.М.

(ГБУЗ “Приазовский государственный технический университет”, г. Мариуполь)

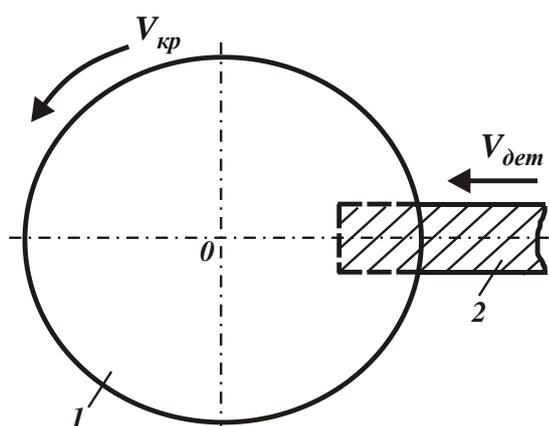
Give a new theoretical solution of the laws governing the formation of surface roughness in grinding with both including and excluding different height location of abrasive grains on the working surface of the circle

Постановка проблемы. При изготовлении высокоточных деталей пневмо- и гидроаппаратуры из труднообрабатываемых материалов постоянно возникают проблемы обеспечения высоких показателей качества и производительности обработки на финишных операциях, в особенности на операциях шлифования. В успешном решении этой проблемы важная роль принадлежит совершенствованию технологий шлифования за счет применения новых характеристик абразивных кругов, обладающих высокой режущей способностью и одновременно обеспечивающих повышение чистоты обработки. Как показывает практика прецизионного шлифования, добиться высоких показателей шероховатости поверхности можно путем снижения разновысотного расположения абразивных зерен на рабочей поверхности круга. Однако теоретических решений, позволяющих обосновать закономерности формирования шероховатости поверхности в этих условиях, фактически нет в научно-технической литературе [1-7]. Поэтому задачу выбора оптимальных условий обработки и характеристик абразивных кругов по критерию наименьшей шероховатости поверхности на основе снижения разновысотного расположения зерен на рабочей поверхности круга следует рассматривать актуальной.

Цель работы – определение условий уменьшения шероховатости обработки при шлифовании и на их основе выбор оптимальных характеристик абразивных кругов применительно к операциям шлифования высокоточных деталей пневмо- и гидроаппаратуры.

Изложение основного материала. Для решения поставленной задачи воспользуемся зависимостью, определяющей параметр шероховатости обрабатываемой поверхности R_{max} при врезном шлифовании прямолинейной детали, движущейся по нормали к рабочей поверхности круга (рис. 1) [7]:

$$R_{max} = 3 \sqrt{\frac{6,75 \cdot b \cdot V_{дет}}{k \cdot V_{кр}}}, \quad (1)$$



где b – максимальная высота выступания режущих зерен над уровнем связки круга, м; k – поверхностная концентрация зерен на рабочей поверхности круга, шт./м²; $V_{дет}$, $V_{кр}$ – соответственно скорости детали и круга, м/с.

Параметры b и k для алмазного круга определяются [3]:

$$b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}; \quad (2)$$

$$k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}, \quad (3)$$

где m – объемная концентрация зерен круга (для 100%-й концентрации алмазного круга – $m=100$); \bar{X} – зернистость круга, м; $(1 - \varepsilon)$ – безразмерная величина, определяющая степень выступания режущих зерен над уровнем связки круга, изменяется в пределах 0...0,5.

Подставляя зависимости (2) и (3) в (1), получено:

$$R_{max} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt{\frac{450 \cdot \pi \cdot V_{дет}}{m \cdot V_{кр}}}. \quad (4)$$

Из зависимости (4) вытекает, что наибольшее влияние на параметр R_{max} оказывает зернистость круга \bar{X} . Поэтому добиться существенного уменьшения параметра R_{max} можно, прежде всего, за счет уменьшения зернистости круга \bar{X} . Уменьшить R_{max} можно увеличением m , $V_{кр}$ и уменьшением $V_{дет}$.

Зависимость (1) получена с учетом вероятностного участия зерен в резании и разновысотного расположения их на рабочей поверхности круга. Очевидно, при этом в резании будут участвовать лишь наиболее выступающие над уровнем связки зерна. Их количество относительно небольшое. Поэтому и шероховатость обработанной поверхности при шлифовании принимает, как правило, достаточно большие значения. Следовательно, уменьшение разновысотности расположения вершин зерен над уровнем связки круга и соответственно

увеличение количества одновременно работающих зерен является важным фактором уменьшения шероховатости поверхности.

Добиться увеличения количества одновременно работающих зерен в процессе шлифования можно, как отмечалось выше, увеличением их объемной концентрации в круге m . Можно также использовать относительно мягкие связки круга, обеспечивающие «утопание» в них наиболее выступающих зерен под действием возникающих при шлифовании нагрузок. В результате фактически все зерна, выступающие над уровнем связки круга, могут принимать участие в процессе резания, что приведет к уменьшению шероховатости поверхности. Чтобы количественно оценить влияние «утопания» зерен в связку круга на шероховатость поверхности, следует провести анализ вероятностной функции $\Phi(y)$, описывающей вероятность неудаленного металла с поверхности обрабатываемого образца при абразивной обработке [8]. В случае доводки абразивными зернами одинакового размера без учета радиальной подачи обрабатываемого образца вероятностная функция $\Phi(y)$ принимает вид:

$$\Phi(y) = e^{-\frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n}{B} \cdot y}, \quad (5)$$

где 2γ – угол при вершине конусообразной части режущего зерна; n – количество абразивных зерен, участвующих в процессе резания; B – ширина обрабатываемого образца, м; y – координата, отсчитываемая от вершины режущего зерна, м.

При наличии радиальной подачи образца функцию $\Phi(y)$ необходимо рассматривать результатом вероятностного суммирования элементарных функций $\Phi_i(y)$, описываемых зависимостью (5), от работы зерен, вершины которых расположены в бесконечно малом интервале dy_i на удалении y_i от начала координаты y . Принимая условие, что количество вершин зерен dn_i , попавших в интервал dy_i , равно $dn_i = n \cdot f(y_i) \cdot dy_i$, а $f(y_i) = 1/b$, после вероятностного суммирования элементарных функций $\Phi_i(y)$ в пределах от 0 до y , получим:

$$\Phi(y) = \prod_{i=1}^n \Phi_i(y) = e^{-\int_0^y \frac{2 \operatorname{tg} \gamma \cdot (y-y_i) \cdot dn}{B}} = e^{-\int_0^y \frac{2 \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot (y-y_i)}{B \cdot b} \cdot dy_i} = e^{-\frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}{B \cdot b} \cdot y^2}, \quad (6)$$

где $f(y_i)$ – условная плотность распределения по координате y вершин зерен, оставивших свои проекции на движущемся вглубь рабочей поверхности круга обрабатываемом образце.

Функция $\Phi(y)$, описываемая зависимостью (6), определяет вероятность неудаленного материала зернами, которые имеют одинаковую высоту выступания над уровнем связки круга. Поскольку «утопание» зерен в связку круга приводит к фактически одинаковой высоте их выступания над уровнем связки, то можно полагать, что зависимость (6) описывает именно данный случай шлифо-

вания. Параметр шероховатости поверхности R_{max} , принимая $b = b_1$, определяется из условия:

$$y = R_{max} = \sqrt{\frac{-\ln \Phi(y = R_{max}) \cdot B \cdot b_1}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}}. \quad (7)$$

Для случая $\Phi(y = R_{max}) = 0,895$ с учетом $-\ln \Phi(y = R_{max}) = 2,25$, получено:

$$R_{max} = \sqrt{\frac{2,25 \cdot B \cdot b_1}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}}. \quad (8)$$

Как видно, параметр шероховатости поверхности R_{max} тем меньше, чем меньше параметр b_1 и больше n .

С учетом разновысотного расположения вершин зерен над уровнем связки круга функцию $\Phi(y)$ необходимо рассматривать результатом вероятностного суммирования элементарных функций $\Phi_i(y)$, описываемых зависимостью (6), от работы зерен, вершины которых расположены в бесконечно малом интервале dy_i на удалении y_i от начала координаты y . Принимая условие, при котором количество вершин зерен dn_i , попавших в интервал dy_i , равно $dn_i = n \cdot f(y_i) \cdot dy_i$, а $f(y_i) = 1/b$, в результате вероятностного суммирования элементарных функций $\Phi_i(y)$ в пределах от 0 до y функция $\Phi(y)$ выразится:

$$\Phi(y) = \prod_{i=1}^n \Phi_i(y) = e^{-\int_0^y \frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot (y-y_i)^2 \cdot dn}{B \cdot b}} = e^{-\int_0^y \frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot (y-y_i)^2}{B \cdot b^2} \cdot dy_i} = e^{-\frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}{3 \cdot B \cdot b^2} \cdot y^3}. \quad (9)$$

Параметр шероховатости поверхности R_{max} , при $b = b_2$, определяется:

$$y = R_{max} = \sqrt[3]{\frac{-3 \cdot \ln \Phi(y = R_{max}) \cdot B \cdot b_2^2}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}}. \quad (10)$$

Для случая $\Phi(y = R_{max}) = 0,895$ с учетом $-\ln \Phi(y = R_{max}) = 2,25$, получено:

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{6,75 \cdot B \cdot b_2^2}{\operatorname{tg} \gamma \cdot n}}. \quad (11)$$

От зависимости (11) можно перейти к зависимости (4), принимая $n = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot b_2 / V_{дет}$ с учетом зависимостей (2) и (3).

Из полученной зависимости (11) следует, что уменьшить параметр шероховатости поверхности R_{max} можно уменьшением параметра b_2 и увеличением n . Как видно, параметры b_1 , b_2 , n входят в зависимости (8) и (11) с разными степенями, что указывает на различия в формировании шероховатости поверхности для двух рассматриваемых случаев шлифования.

Обозначая в зависимости (8) параметр R_{max} через R_{max1} , а в зависимости (11) параметр R_{max} через R_{max2} , после преобразований зависимостей (8) и (11) имеем:

$$R_{max2} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot b_2^2 \cdot R_{max1}^2}{b_1}}. \quad (12)$$

Таким образом, получена аналитическая зависимость, увязывающая параметры шероховатости поверхности R_{max1} и R_{max2} , которые достигаются при шлифовании кругом с фактически одновысотным выступанием зерен над уровнем связки и кругом с разновысотным выступанием зерен над уровнем связки. Задавая значения параметров R_{max1} , b_1 и b_2 , по зависимости (12) можно рассчитать значения параметра R_{max2} . На основе сравнения значений параметров R_{max1} и R_{max2} оценивается степень влияния «утопания» зерен в связку круга на шероховатость обработанной поверхности.

Пример расчета. Для исходных данных: $R_{max1} = 1$ мкм; $b_1 = 3$ мкм; $b_2 = 24$ мкм определено значение $R_{max2} = 8,3$ мкм. Этим показано, что за счет «утопания» зерен в связку круга параметр шероховатости поверхности R_{max} уменьшился с 8,3 до 1 мкм, т.е. в 8,3 раза. Это указывает на существование значительных резервов уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности при шлифовании в связи с обеспечением «утопания» зерен в связку круга.

Полученное теоретическое решение согласуется с известными экспериментальными данными. Так, в работе [2] экспериментально установлено, что при шлифовании напыленного сплава СНГН торцом алмазного чашечного круга на металлической связке М1-01 параметр шероховатости обрабатываемой поверхности R_a принимает значительно большие значения (до 10 раз и более), чем при шлифовании алмазными кругами на относительно мягких органических связках Б1 и БР. Как известно, металлическая связка М1-01 характеризуется большей твердостью по сравнению со связками Б1 и БР. Поэтому алмазные и другие абразивные зерна фактически не «утопают» в металлическую связку М1-01 и «утопают» на значительную глубину в связки Б1, БР и, особенно, с войлочной или фетровой основой, что приводит к увеличению количества одновременно работающих зерен и уменьшению параметра шероховатости R_a . Такая же закономерность вытекает из зависимости (12). Следовательно, используя зависимость (12), можно аналитически подходить к оценке влияния глубины «утопания» режущих зерен в связку круга на шероховатость обработанной поверхности при шлифовании.

С целью снижения трудоемкости обработки предложено после предварительного шлифования выполнить окончательное шлифование по двум вариантам: по первому варианту осуществлялась обработка на современном высокоточном станке «Okamoto» абразивным кругом ПП 300×30×127 16С F320P7V с частотой вращения круга 18000 об./мин; по второму – обработка на токарном станке модели 1М63 войлочным кругом с наклеенным слоем абразивного порошка 63С 20П с частотой вращения шпинделя 200 об./мин, – круга 1400

об./мин, при этом ось вращения круга, с индивидуальным приводом, была перпендикулярна оси вращения отверстия обрабатываемого цилиндра.

При обработке на станке «Okamoto» в течение 40 мин обеспечивается шероховатость $R_a=0,16$ мкм и требуемый допуск радиального биения в пределах 0,005 мм. При шлифовании отверстия втулки на токарном станке модели 1М63 в течение 30 мин получена шероховатость $R_a=0,04$ мкм (т.е. зеркальная поверхность). Таким образом, установлено, что применение кругов, обладающих повышенной степенью утопания абразивных зерен в связку, приводит к еще большему повышению класса чистоты поверхности и, как следствие, характеризующихся небольшой разновысотностью зерен, позволяет исключить трудоемкую ручную обработку на операциях доводки при обеспечении высоких показателей шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей.

Выводы: Получено новое теоретическое решение задачи о закономерностях формирования шероховатости поверхности при шлифовании, как с учетом, так и без учета разновысотного расположения абразивных зерен на рабочей поверхности круга. Это позволило определить основные условия уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании.

Теоретически доказано, что, обеспечивая при шлифовании «утопание» зерен в связку круга, можно существенно уменьшить шероховатость поверхности. Эффект обработки в этом случае состоит в том, что фактически исключается разновысотное расположение абразивных зерен на рабочей поверхности круга и тем самым обеспечивается увеличение количества одновременно работающих зерен.

Приведенные примеры практической реализации теоретических решений указывают на их достоверность, а также на возможность существенного уменьшения шероховатости поверхности (до уровня обработки свободным абразивом) на операциях шлифования деталей гидроаппаратуры при одновременном снижении трудоемкости обработки. Показано, что при увеличении степени «утопания» абразивного зерна (использование войлочного круга) уменьшается высота микронеровностей при использовании и более крупнозернистого абразива. Особенно это заметно при изменении направления обработочных рисок на угол, близкий к прямому.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с. 2. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. – К.: Наук. думка, 1984. – 272 с. 3. Алмазно-абразивная обработка материалов: справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 4. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.В. Королев. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 212 с. 5. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с. 6. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Изд-во «Наука», 1975. – 343 с. 7. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.03.01 «Про-

цессы механической обработки, станки и инструменты» / Ф.В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1995. – 36 с. 8. Новиков Ф.В. Исследования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке методами теории вероятностей / Ф.В. Новиков, В.Г. Шкурупий // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2004. – № 44. – С. 140-149.

УДК 621.923

ПРИСТРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА МЕТАЛЕВІЙ ЗВ'ЯЗЦІ

Стрельчук Р.М., канд. техн. наук

(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)

The system of the wheel's optimization was proposed on the analysis's base of the determinative model of the technological diamond-sparkling the process of polishing

Підвищення техніко-економічних показників технологічних процесів алмазного шліфування забезпечується наявністю в контурі програмного управління верстатом засобів адаптивної правки кругів. Питанням розробки методів та технічних засобів правки шліфувальних кругів на металевій зв'язці приділяється увага в технічній літературі [1-4]. Але існуючі пристрої оптимізації процесів правки шліфувальних кругів не задовольняють вимогам за точністю.

Метою роботи є розробка і аналіз пристрою оптимізації процесу виправлення шліфувальних кругів з підвищеними показниками точності.

Методика роботи. Структура пристрою оптимізації процесу правки шліфувальних кругів на металевій зв'язці наведена на рис. 1. Функціонально цей пристрій є замкнена цифрова система автоматичного регулювання шпаруватості вихідного сигналу технологічного джерела живлення типа ШГІ.

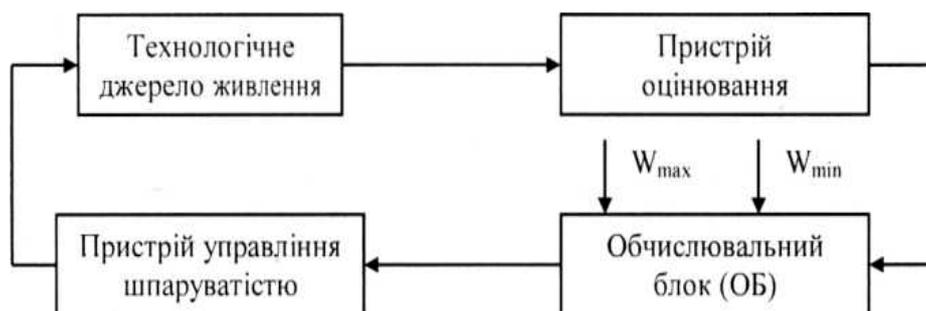


Рис. 1. Схема пристрою оптимізації процесів виправлення шліфувальних кругів

Функцію регулятора шпаруватості вихідного сигналу джерела живлення в системі виконує обчислювальний блок, який за сигналами уставки W_{\max} і W_{\min} формує позиційний код в означених межах. Цей код запам'ятовується в регістрі пристрою управління шпаруватістю. З аналізу особливостей процесів правки шліфувальних кругів на металевій зв'язці можна записати наступне: $W_{\text{доп.макс}} \leq W_z \leq W_{\text{доп.мін}}$, де $W_{\text{доп.макс}}$ – умова стабілізації показника мікронерів-

ностей оброблених поверхонь деталей; $W_{\text{доп.мін}}$ – умова протікання технологічного процесу виправлення шліфувального круга. З урахуванням цього та результатів роботи [4] можна оцінити припустимий діапазон регулювання шпаруватості технологічного джерела живлення за наступною системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} q_{\min} &= \frac{U_m^* R_3^*}{(R_3^* + 1) \sqrt{W_{\text{доп.макс}}^* F^*}} \\ q_{\max} &= \frac{U_m^* R_3^*}{(R_3^* + 1) \sqrt{W_{\text{доп.мін}}^* F^*}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

У цих виразах усі змінні представлені в безрозмірному виді.

Вирішення поставленої задачі. На рис. 2 представлені графіки зміни енергії зони обробки деталі у функції шпаруватості вихідного сигналу технологічного джерела живлення. Ці графіки отримано методом імітаційного моделювання для різних значень $S_{\text{пр}}$ і $S_{\text{поп}}$. На графіках також відзначені $W_{\text{доп.макс}}$ і $W_{\text{доп.мін}}$. Область, яка розташована між цими лініями є робочою для пристрою правки шліфувальних кругів на металевій зв'язці. Результати розрахунку q_{\min} і q_{\max} по виразам (1) наведені в табл. 1.

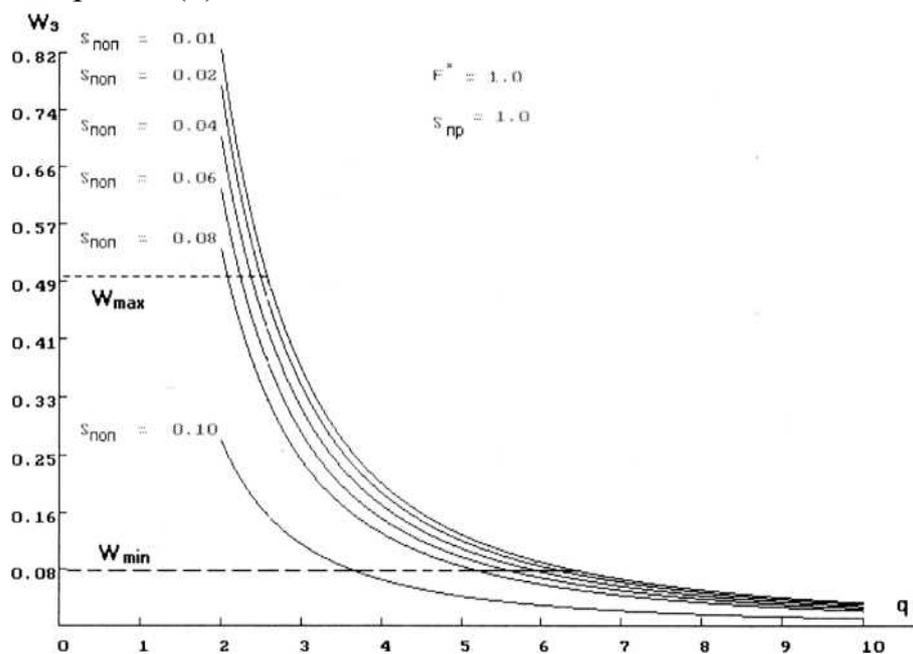


Рис. 2. Графіки зміни енергії зони обробки деталі

Таблиця 1

Розрахункові значення q_{\min} і q_{\max}

$S_{\text{пр}},$ М/ХВ	q	$S_{\text{поп}},$ мм / подвійний хід									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
4,0	max	6,33	5,40	5,20	5,00	4,51	4,00	3,57	3,13	2,73	-
	min	2,53	2,13	2,07	2,00	-	-	-	-	-	-
1,0	max	6,47	6,33	6,15	5,87	5,60	5,33	5,06	4,80	4,20	3,60
	min	2,60	2,47	2,45	2,43	2,33	2,23	2,15	2,07	-	-

Дані таблиці дозволяють обчислювальному блоку (ОБ) визначити оптимальну шпаруватість вихідного сигналу технологічного джерела живлення та задати її для різних режимів роботи верстата при правці шліфувальних кругів.

ОБ виконує лінійні операції, які пов'язані з диференціюванням, інтегруванням, додаванням та ін. Цей блок можна представити лінійним імпульсним фільтром. Однак наявність у складі ОБ запам'ятовуючого пристрою, який дозволяє крім поточних значень вхідних і вихідних сигналів враховувати і їхній попередній стан. Якщо потрібно врахувати n поточних значень вихідного і m попередніх значень вхідного сигналів, то деякий довільний лінійний алгоритм роботи ОБ описується таким співвідношенням:

$$E_I(n\tau_r)\delta(t-n\tau_r) = \sum_{\mu=0}^m b_{\mu} E[(n-\mu)\tau_r] \delta[t-(n-\mu)\tau_r] - \sum_{v=1}^n \alpha_v E_I[(n-v)\tau_r] \delta[t-(n-v)\tau_r], \quad (2)$$

де E , E_I – відповідно вхідний та вихідний імпульсні сигнали; τ_r – період гратчастої функції; δ – дельта-функція Дирака; α_v і b_{μ} – задані коефіцієнти.

Виконаємо над лівою та правою частинами співвідношення (2) перетворення Лапласа при нульових початкових умовах. Відповідно до визначення (2) роботи [5] й теореми запізнювання маємо:

$$E_I(p) = \sum_{\mu=0}^m b_{\mu} E(p) e^{-\mu p \tau_r} - \sum_{v=1}^n \alpha_v E_I(p) e^{-v p \tau_r}. \quad (3)$$

Звідси узагальнена передатна функція ОБ як деякого довільного цифрового фільтра має такий вигляд:

$$H_I(p) = \frac{\sum_{\mu=0}^m b_{\mu} e^{-\mu p \tau_r}}{1 + \sum_{v=1}^n \alpha_v e^{-v p \tau_r}}. \quad (4)$$

Найбільш загальний випадок представлення передатної функції ОБ має місце, коли $m = 1$, $n=0$, $b_0 = \tau_r^{-1}$ і $b_1 = -\tau_r^{-1}$. Тоді (4) набуває вигляду:

$$H_I(p) = \frac{1 - e^{-p \tau_r}}{\tau_r}. \quad (5)$$

Специфіка роботи пристрою оцінювання шпаруватості вихідного сигналу технологічних джерел живлення й блоку управління цим параметром дозволяє представити їх імпульсними елементами, які мають такі передатні функції:

$$H_2(p) = \frac{1 - e^{-p T_2}}{p}, \quad (6)$$

де T_2 – період вихідного сигналу технологічного джерела живлення.

На підставі викладеного передатна функція розімкнутої системи регулювання здобуває наступного вигляду:

$$H_3(p) = p T_2^2 (1 + 2.25 \tau_r p) (1 + 0.25 T_2 p)^2. \quad (7)$$

Тоді передатна функція замкнутої системи автоматичного регулювання шпаруватості вихідних сигналів технологічних джерел живлення описується:

$$H_4(p) = \frac{pT_z^2(1 + 2.25\tau_r p)(1 + 0.25T_z p)^2}{1 + pT_z^2(1 + 2.25\tau_r p)(1 + 0.25T_z p)^2}. \quad (8)$$

Пошук нулів та полюсів дозволяє представити передатну функцію у вигляді послідовного з'єднання елементарних ланок:

$$H_4(p) = \frac{pT_z^2 \prod_{i=1}^3 (T_i p + 1)}{\prod_{k=1}^4 (T_k p + 1)}. \quad (9)$$

Передатна функція помилки досліджуваного пристрою регулювання з одиничним зворотним зв'язком описується наступним операторним рівнянням:

$$G_3(p) = \frac{1}{1 + pT_z^2(1 + 2.25\tau_r p)(1 + 0.25T_z p)^2}. \quad (10)$$

Після нескладних математичних перетворень операторне рівняння (4) набуває наступного вигляду:

$$G_3(p) = \frac{1}{p^4 + \frac{T_z + 2\tau_r}{0.25T_z^2\tau_r} p^3 + \frac{2T_z + \tau_r}{0.06T_z^2\tau_r} p^2 + \frac{p}{0.02T_z^2\tau_r} + \frac{1}{0.02T_z^2\tau_r}}. \quad (11)$$

Перехід у частотну область дає наступне рівняння помилки пристрою оптимізації процесів правки шліфувальних кругів на металевій зв'язці:

$$\delta_3 = \frac{T_z 100\%}{\sqrt{\left(\omega_z^4 - \frac{2T_z + \tau_r}{0.06T_z^2\tau_r} \omega_z^2 + \frac{50}{T_z^2\tau_r}\right)^2 + \left(\frac{50\omega_z}{T_z^2\tau_r} - \frac{T_z + 2\tau_r}{0.25T_z^2\tau_r} \omega_z^3\right)^2}}. \quad (12)$$

Висновки. Результати розрахунку помилки пристрою, які отримано за допомогою рівняння (12), задовільно погодяться з аналізом метрологічних характеристик його окремих блоків. Величина відносної помилки цього пристрою склала 0,03%. Отже, запропонований пристрій оптимізації процесів правки шліфувальних кругів задовольняє вимогам по точності.

Список літератури: 1. Матюха П.Г. Алмазное шлифование с управлением параметрами рабочей поверхности круга / П.Г. Матюха // Резание и инструмент. – Харьков: ХГПУ, 1993. – Вып. 48. – С. 33–35. 2. Полтавец В.В. Себестоимость шлифования с управляющими воздействиями на РПК / В.В. Полтавец // Резание и инструмент. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 53–60. 3. Новоселов Ю.К. Стратегия управления операцией шлифования в автоматизированном производстве / Ю.К. Новоселов, С.М. Братан, И.В. Крылов // Резание и инструмент. – Харьков: ХГПУ, 2001. – С. 25–31. 4. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования / А.Ф. Еникеев. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с. 5. Микропроцессорные автоматические системы регулирования. Основы теории и элементы: учебное пособие / В.В. Солодовников, В.Г. Коньков, В.А. Суханов и др.; Под редакцией В.В. Солодовникова. – М.: Высшая школа, 1991. – 255 с.

ESPRIT – ЛУЧШИЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА. ОПЫТ РАБОТЫ В УКРАИНЕ И В РОССИИ

Жовтобрюх В.А., канд. техн. наук, директор
(ООО Технический Центр «ВариУс», г. Днепропетровск)

Реальным шагом к построению эффективного производства в Украине и в России может стать освоение передовых методов работы, которые применяют успешные зарубежные предприятия. Одним из них является автоматизированная разработка управляющих программ с помощью программного комплекса ESPRIT.

The real step to efficient production building in Ukraine and Russia can become implementation of advanced methods of work which are applied by successful foreign enterprises. One of them is automatized developing of executive programs with ESPRIT software package.

Комплекс ESPRIT, разработанный компанией DP Technology (США), используют крупнейшие западные производители – лидеры в своих сегментах рынка. В их числе – Boeing, NASA, Peugeot, Citroen, Audi, Volvo, Ford, Man, Nakamura-Tome, MoriSeiki, Mazak, Doosan, Fanuc, Завод «Салют», ВСМПО-АВИСМА, НПО «Сатурн» (Россия), ПО «ЮжМаш», Крюковский вагонзавод (Украина) и многие другие. В целом управляющие программы с помощью ESPRIT разрабатывают на 15000 предприятий по всему миру. На украинских заводах с ESPRIT пока знакомы мало, хотя его применяют уже на сотнях заводов России — в основном при программировании электроэрозионной и пятиосевой фрезерной обработки. Для удобства российских пользователей интерфейс ESPRIT переведен на русский язык.



Walter Lentz, главный NC-программист компании Halliburton Manufacturing: *«Раньше на разработку программ для наших токарных и фрезерных станков мы затрачивали дни, плюс как минимум еще день для отладки на станке. Теперь же для этого требуются часы или даже минуты. Сегодня для создания 200 новых УП в месяц и модификации 60 000 уже готовых мы обходимся всего десятью программистами».*

Специалисты инжиниринговой компании «ТвисТ» активно внедряют ESPRIT для разработки управляющих программ при внедрении технологического оборудования на заводах заказчиков. ИК «ТвисТ» имеет большой практический опыт в инновационных проектах по техническому перевооружению украинских машиностроительных предприятий. Реализовано более 250 промышленных проектов, поставлено и введено в действие более 150 единиц технологического оборудования.

Сергей Кулик, инженер отдела программирования станков с ЧПУ ИК «ТвисТ»: *«При запуске токарного обрабатывающего центра DOOSAN PUMA 700 XLY (PMЦ 5.5 м, ось Y) для изготовления крупногабаритных валов на предприятии АО «Сумской завод «Насосэнергомаши» использовался программный комплекс ESPRIT. Фрезерный модуль постпроцессора обрабатывался непосредственно возле станка. В результате удалось достигнуть полной автоматизации выдачи данных УП без последующей «ручной» корректировки и ускорить введение сложнейшего станка в эксплуатацию».*

Почему ESPRIT так популярен среди разработчиков управляющих программ (УП) и так высоко ценится владельцами предприятий? Потому, что его применение позволяет:

- затрачивать на создание и отладку управляющих программ не дни, а часы или даже минуты;

- применять одно САМ-средство для программирования обработки на всех станках с ЧПУ в цехе — как самых простых, так и самых сложных;

- экономить производственные ресурсы и оберегать от поломки дорогостоящее оборудование,

инструмент и оснастку, что достигается благодаря возможности быстро обнаружить и исправить ошибки в обработке еще до передачи УП в цех;

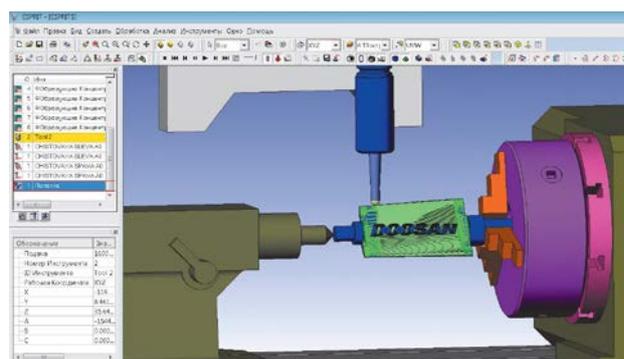
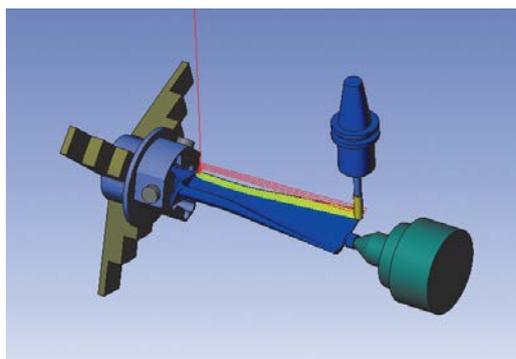
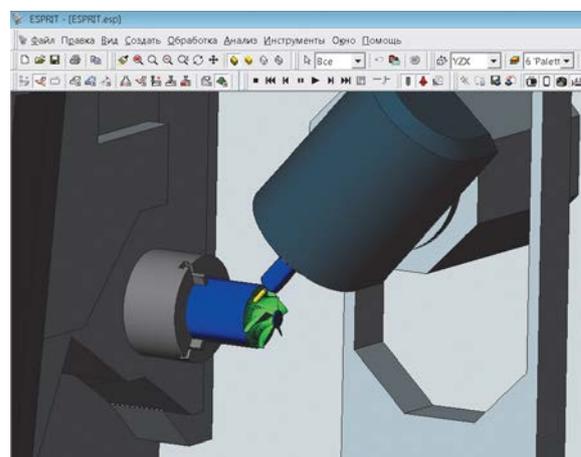
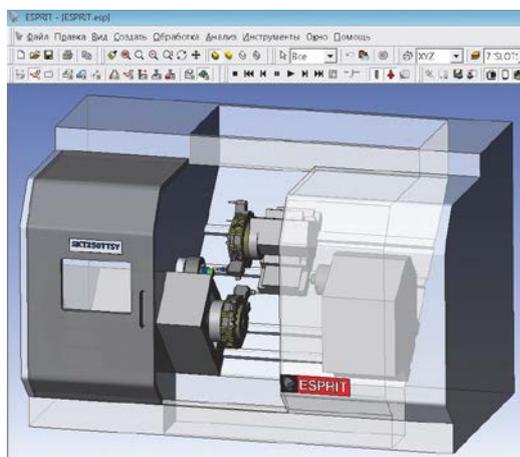
- использовать при подготовке УП как лучший мировой опыт, так и опыт собственных специалистов,

благодаря наличию в системе ESPRIT пополняемой базы знаний KnowledgeBase и возможности автоматического применения оптимальных режимов обработки;

- получить важные конкурентные преимущества: повысить качество обработки, уменьшить машинное время, ускорить подготовку выпуска новых изделий, сократить сроки окупаемости станков.

Чубенко М. Г., ведущий программист ПО «Южный машиностроительный завод» г. Днепропетровск: *«В современных условиях производства деталей путем обработки резанием требуется высокий уровень автоматизации техно-*

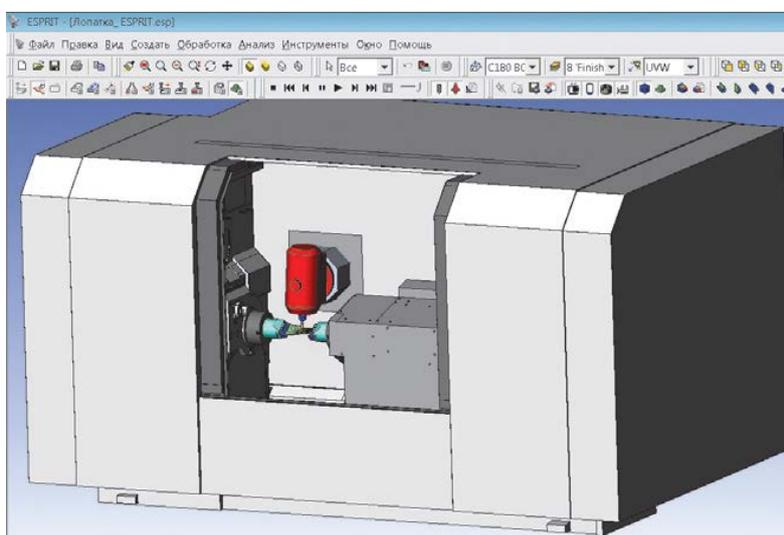
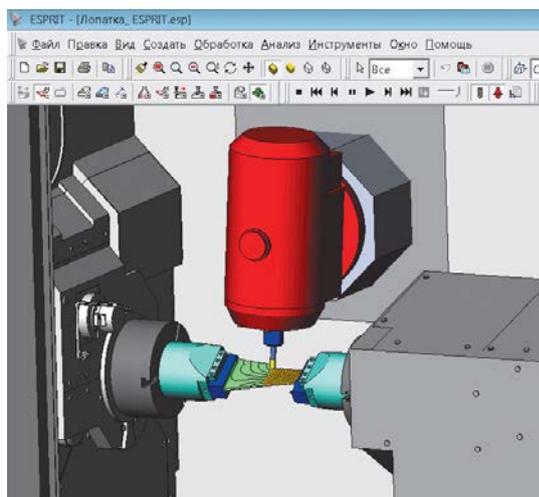
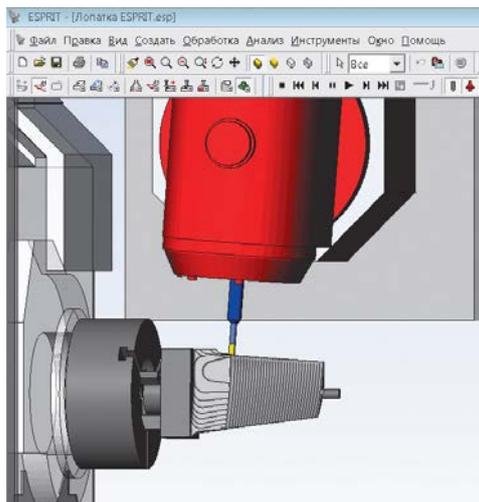
логического процесса, в частности использование надежных САМ – САД систем. На нашем предприятии успешно применяются САМ системы: ESPRIT, DELCAM, MASTERCAM. Хочется выразить особую благодарность высококвалифицированным специалистам, сопровождающим каждый программный продукт. Однако специфика нашего производства требует эффективного обслуживания многоосевого и многошпиндельного оборудования. Мы сделали выбор в пользу ESPRIT. Комплекс ESPRIT позволяет нашим пользователям легко решать вопросы, связанные с автоматизацией программирования станков любой сложности за счет возможности полного моделирования процесса обработки деталей. Одним из многочисленных преимуществ ESPRIT является доступ к огромной базе трехмерных моделей станков разных производителей и базе рабочих постпроцессоров всех известных систем ЧПУ. Кроме того, комфортная работа с данной программой обеспечивается возможностью создания пользовательских 3D-моделей оборудования, а также благодаря великолепному сопровождению от представительства в Украине в любое время суток».



Все виды современной механической обработки

Средствами ESPRIT эффективно программируются все виды обработки, которые востребованы современным машиностроительным производством. В их числе 2–5-осевая фрезерная обработка, 2–22-осевая токарная обработка, обработка на многофункциональных токарно-фрезерных центрах и станках с осью В, а также 2–5-осевая электроэрозионная обработка. Если на предприятии

начинают работать с ESPRIT, вероятность того, что понадобится какой-либо другой инструмент для программирования обработки, практически равна нулю.



Легко, удобно, быстро

Возможности программного комплекса позволяют легко и быстро (и это без преувеличения!) разрабатывать управляющие программы, как для простых, так и для самых сложных станков. Основанный на платформе Windows, комплекс ESPRIT использует все преимущества этой операционной системы — удобный и настраиваемый интерфейс, интеграцию с Microsoft Office для создания документации, поддержку OpenGL, online-помощь, основанную на технологии HTML. Благодаря наличию обширного набора трансляторов, ESPRIT напрямую работает с 3D-моделями из любой САПР, импортируя их без каких-либо повреждений. Это позволяет исключить необходимость редактирования или восстановления исходной геометрии. К тому же при разработке управляющих программ появляется возможность использования 3D-моделей любого типа: твердотельные, поверхностные, каркасные, фасетные (в формате STL). Все это значительно повышает эффективность процесса разработки управляю-

щих программ и уменьшает его длительность. С помощью встроенного языка Microsoft Visual Basic можно создавать макросы для автоматизации любых этапов программирования. Благодаря этому, для рутинных операций, на которые раньше уходили часы, потребуется лишь несколько минут.

Красильников Д.А., главный технолог ОАО Казанский оптико-механический завод: *«После того как мы приобрели современный и сложный токарно-фрезерный станок, нам потребовался хороший инструмент для его программирования. Обратили внимание на ESPRIT. Компания поставщик провела обучение наших специалистов, по завершению которого они самостоятельно подготовили УП для тестовой детали и отработали её на станке. Мы довольны результатом. Действительно, ESPRIT легко освоить и просто использовать. А для программирования сложного оборудования он просто незаменим».*

Лучшие методы плюс производственный опыт

ESPRIT KnowledgeBase позволяет замкнуть цепь между разработчиками управляющих программ и цехом, так как с её помощью весь приобретенный опыт сохраняется в единой базе знаний и впоследствии может быть легко использован. Любой технолог-программист одним нажатием кнопки может выбрать наиболее подходящий метод обработки, исходя из особенностей новой детали. При этом система автоматически предлагает оптимальный процесс обработки, режущий инструмент и режимы резания. Освобождая технологов-программистов от рутинных операций, KnowledgeBase дает им возможность сосредоточиться на совершенствовании процессов обработки, а предприятию – выйти на принципиально новый уровень производственных возможностей. Каждый раз, когда при создании управляющей программы используется база знаний, процесс обработки автоматически проверяется на соответствие лучшим методикам и обновляется, что позволяет постоянно повышать качество обработки. Таким образом, KnowledgeBase помогает устранить из процесса разработки УП догадки и предположения и обеспечить лучший результат на каждом её этапе. Всё это вместе способствует повышению производительности и рентабельности производства. Универсальный постпроцессор *ESPRIT* позволяет быстро создавать качественные управляющие программы в G-кодах. Каждый пользователь ESPRIT получает полный доступ к обширной библиотеке готовых постпроцессоров для конкретных станков и стоек ЧПУ, в том числе, сертифицированных ведущими производителями оборудования. Благодаря открытой архитектуре *ESPRIT*, пользователи могут без особого труда корректировать их, исходя из своих предпочтений и производственных требований.

Визуализация и проверка на столкновения

Быстрая, точная и надежная проверка обработки средствами ESPRIT позволяет не прибегать к дорогостоящей отладке управляющих программ непосредственно на станке. Визуализация процесса обработки в среде ESPRIT даст полную уверенность в его правильности, позволяя сравнить модель детали, «обработанной» в ESPRIT, с её конструкторской версией. Система проводит

всестороннюю проверку УП, моделируя всю среду обработки — станок, инструмент, оснастку, приспособление, заготовку и деталь. Высококачественная визуализация обработки в режиме реального времени и надежный метод обнаружения столкновений гарантируют, что даже самые сложные детали будут корректно изготовлены с первого раза, а дорогой станок, инструмент и оснастка не будут повреждены. Таким образом, применение ESPRIT позволит сократить простой оборудования, максимально увеличить производительность и уменьшить стоимость станочной обработки.

Всегда с поддержкой

Каждый день перед производителями встают всё новые задачи, и для их успешного решения требуются новые подходы. Система поддержки ПО ESPRIT обеспечивает полный доступ к различным ресурсам для изучения возможностей программного продукта, автоматизированное обновление ПО, доступ к web-ресурсам ESPRIT и подписку на журнал «ESPRIT de CORPS», где обсуждаются актуальные проблемы программирования станочной обработки и способы их решения. Пользователи, подписавшиеся на активную поддержку, систематически получают обновления программного продукта. Каждый новый релиз предлагает значительное расширение функциональных возможностей, сделанное с учетом многочисленных пожеланий пользователей. Отдача от таких обновлений будет высокой, а затраты времени на освоение новых возможностей – минимальными.

ESPRIT – правильный шаг к эффективному производству

Инжиниринговая компания «ТВИСТ»

г. Днепропетровск,

Тел. +380 (68) 445-76-71

Факс +380 (56) 790-40-80

Техподдержка:

kulik@twist.dp.ua

sizyuhin@twist.dp.ua

УДК 621.96

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ТОЧЕНИЕ КЕРАМИКОЙ И CBN ОТ КОМПАНИИ TAEGUTEC

Резник Е.А., главный технолог по токарному инструменту
(ООО "ТАЕГУТЕК УКРАИНА", г. Днепропетровск)

Practical recommendations for the implementation of high-speed turning ceramics and CBN from the company TaeguTec

Высокая степень конкуренции среди предприятий, производящих авиационную и космическую технику, приводит к постоянному усовершенствованию конструкций за счет усложнения компонентов, а также благодаря внедрению новых материалов, обладающих увеличенной прочностью, термостой-

костью и т.п. В последнее время в аэрокосмической промышленности все шире начали использовать новые материалы. До 2007 года нержавеющая сталь и тугоплавкие сплавы составляли 65% от используемых материалов. Сейчас их место заняли композиты. Это очень серьезные изменения. Даже чистый титан, применяемый для изготовления автомобильных шасси, сравнительно легко поддавался обработке. Теперь все чаще используют особые высокопрочные сплавы титана, производимые VSMPO-AVISMA Corporation, которые крайне тяжелы в обработке.



Такие изменения влекут за собой абсолютно новые требования к режущему инструменту, с помощью которого должны обрабатываться новые материалы и производиться сложнейшие технологические изделия с наименьшей производительностью, чем ранее.

Компания **TaeguTec** имеет в своем арсенале набор великолепных инструментальных материалов, проверенных временем на самых сложных в обработке материалах. Сплавы **TaeguTec** показывают отличные эксплуатационные характеристики и обеспечивают хорошее качество поверхности благодаря уникальному химико-физическому составу и современным технологиям спекания и покрытия. В данной статье будут сделаны рекомендации по применению режущих пластин из керамики и со вставками из CBN для операций высокоскоростного точения труднообрабатываемых материалов.

Обработка сталей инструментом, оснащенным вставками с CBN

Новый сплав **TB610** имеет высокую коррозионную стойкость и химическую стабильность. Рекомендуется как первый выбор технологу при непрерывном полужестком точении закаленных сталей со значительной твердостью. Сплав **TB650** обладает еще более высокой твердостью вместе с достаточной «трещиностойкостью», что позволяет применять его при высокоскоростной полужесткой обработке легированной, инструментальной и закаленной сталей.

Обработка чугунов инструментом, оснащенным вставками с CBN

Сплав **TB730** (ранее известный, как **KB90**) отличается высокой твердостью и трещиностойкостью при черновом точении серых чугунов и чугунов с шаровидным графитом. А сплав **KB90A** рекомендуется для обработки твердосплавных прокатных валков. Подробно о сплавах CBN можно узнать в табл. 1.

Таблица 1. Сплавы CBN					
Сплав	TB610	TB650	TB670	TB730(KB90)	KB90A
CBN (%)	40-50	50-60	60-70	90-95	90-95
Твёрдость	2,800-3,000	3,100-3,300	3,200-3,400	4,000-4,200	3,800-4,000
Особенность	← Бесперывное резание			Прерывистое резание →	
Применение	Закалённая сталь			Чугун	

Высокоскоростное точение керамическими пластинами

Керамические сплавы, в свою очередь, также имеют достаточно высокую твёрдость и хорошее сопротивление к окислению в сравнении с другими инструментальными материалами. Кроме того, инструмент TaeguTec из керамики обладает улучшенной стойкостью к образованию трещин и ударопрочностью при температуре свыше 1000 градусов, несмотря на то, что при комнатной температуре это абсолютно хрупкие материалы. Механические и температурные свойства различных металлорежущих материалов показаны в табл. 2.

Таблица 2. Механические и температурные свойства материалов					
	Al ₂ O ₃	Si ₃ N ₄	PCBN	PCD	PCD Hardmetal
Плотность г/см ³	4.0	3.2	3.4	3.5	14.9
Твёрдость (Hv)	1,900	1,700	3,700	7,000	1,400
Ударная вязкость (МПа/м ²)	3	6	5	5	12
Теплопроводность (Wm ⁻¹ /K ⁻¹)	30	40	100	120	100
Температура окисления (°C)	>2.000	1.300	1.200	650	500

Алюмооксидная керамика (Al₂O₃) имеет великолепное сопротивление к окислению и высокую стойкость при высокоскоростном бесперывном точении материалов на основе железа.

Нитрид кремния (Si₃N₄) имеет высокую стойкость к образованию трещин и хорошее сопротивление к окислению. Это лучшее решение в черновой обработке материалов на основе железа.

Следует заметить, что пластины TaeguTec из керамики за последние 10–12 лет значительно улучшили свои характеристики в сравнении с ранее применявшимися и успешно конкурируют с лучшими мировыми конкурентами. Благодаря этому такой инструмент все чаще является средством для достижения более высокой производительности по сравнению с твердосплавными пластинами при определенных условиях. Богатый опыт специалистов компании позволяет выдавать безошибочные рекомендации по применению десятков видов керамических инструментальных материалов. Например, при бесперывном точении чугуна и калёных материалов однозначно рекомендуется использовать керамику на основе оксида алюминия. А пластины на основе нитрида кремния лучше стоят при черновой обработке чугуна и высокоскоростной обработке жаропрочных материалов на основе никеля. Теперь подробнее.

Обработка калёных материалов, углеродистых и легированных сталей инструментом из керамики

Керамика на основе оксида алюминия применяется для высокоскоростной обработки закалённой стали благодаря превосходному сопротивлению к

окислению и температурной стабильности. **TaeguTec** имеет несколько видов таких керамических сплавов. Например, сплав **AB30** применяется, как правило, для производительного точения сталей, таких как углеродистые и низколегированные. Сплав **AB20** рекомендуется для точения высоколегированных материалов и сталей с высокой твёрдостью. Сплав **AB2010** рекомендуется исключительно для чистовой обработки закалённых сталей.

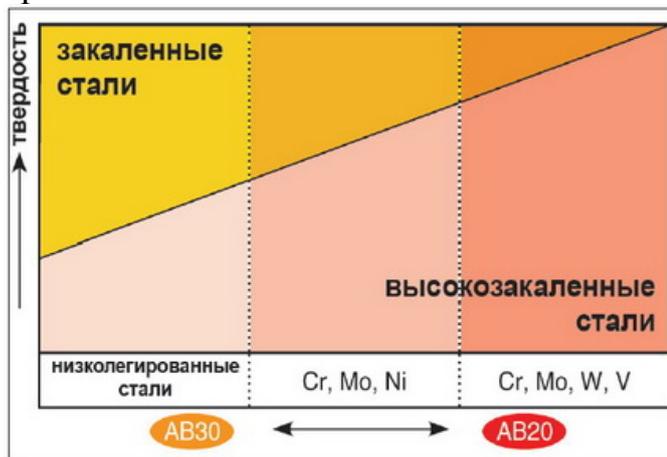


Рис. 1. Область применения керамических сплавов AB20 и AB30

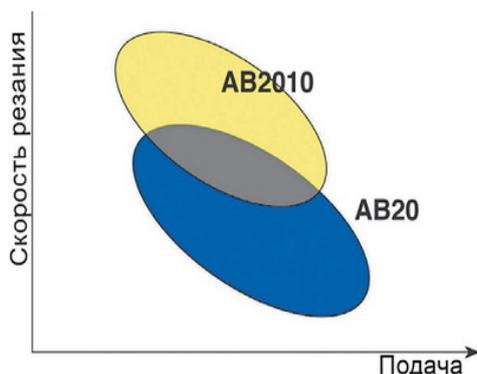


Рис. 2. Область применения керамических сплавов при обработке закаленных материалов

На диаграмме (рис.1) схематически показана область применения рассмотренных керамических пластин в зависимости от обрабатываемого материала и его твёрдости. Благодаря высокой твердости и стойкости к окислению, сплав AB20 идеально подходит для механической обработки сверхтвёрдых материалов типа CrMoNi и инструментальных сталей.

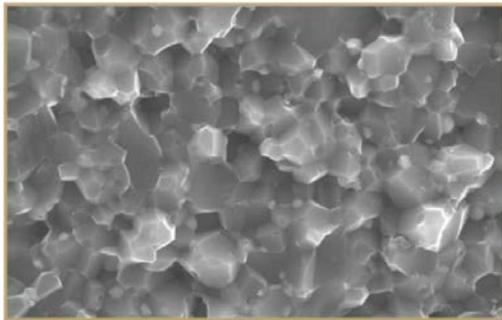
Отличные результаты на предприятиях Украины показал керамический сплав **AB2010** с покрытием из нитрида титана. Данный сплав хорошо конкурирует с более дорогостоящими материалами из CBN в обработке закалённой стали. За счёт нанесения покрытия увеличивается стойкость пластины до 50% в сравнении с непокрытыми сплавами. Область применения можно увидеть на рис. 2.

есть стойкость пластины до 50% в сравнении с непокрытыми сплавами. Область применения можно увидеть на рис. 2.

Обработка чугунов инструментом из керамики

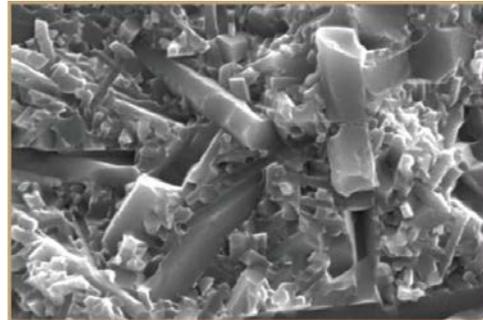
Как правило, действительно лучшим решением в высокоскоростной обработке чугуна являются керамические пластины за счет высокой твёрдости и умеренной вязкости. Керамический сплав из чистого оксида алюминия **AW20** (рис. 3) лучше всего применять в высокоскоростной обработке чугунных деталей типа цилиндр. Обладая превосходной стойкостью к окислению и температурной стабильностью, этот материал значительно превосходит по этим параметрам аналогичные сплавы конкурентов. Керамика же на основе нитрида

кремния (**AS500** (рис. 4) и **AS10**) имеет шикарное сопротивление к выкрашиванию и умеренную твердость. Поэтому данные сплавы рекомендуется использовать для черновых операций в токарной обработке всех видов чугуна. Например, для производства таких деталей, как чугунный автомобильный диск и фрезерование блока цилиндров. Сплавы же **AB30** и **SC10** являются лучшим выбором для обработки серых чугунов и чугунов с шаровидным графитом (рис. 5).



AW20

Рис. 3. Сплав AW20



AS500

Рис. 4. Сплав AS500

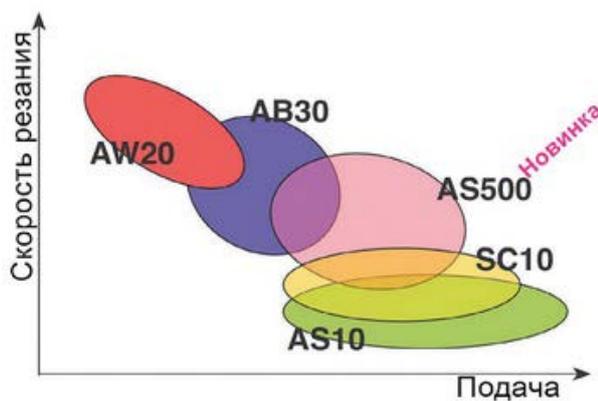


Рис. 5. Область применения керамических сплавов при обработке чугуна

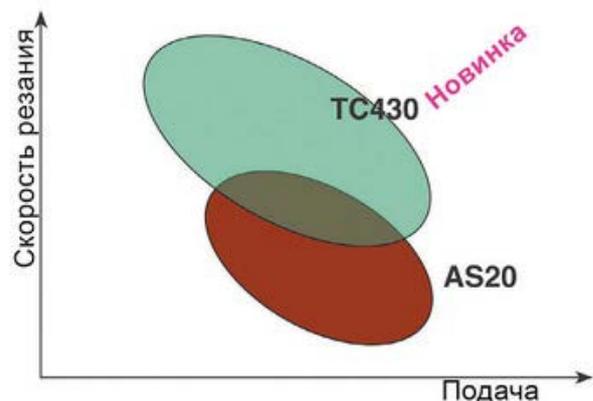


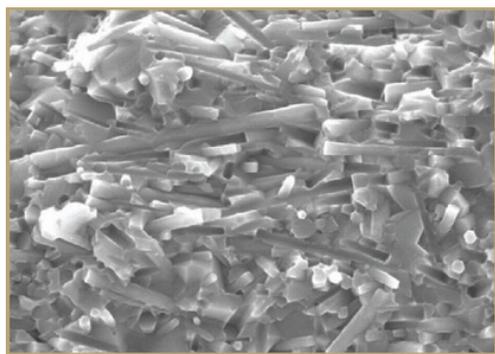
Рис. 6. Область применения керамических сплавов по жаропрочным материалам

Обработка жаропрочных сталей инструментом из керамики.

Высокопроизводительную обработку жаропрочных сталей, а также материалов на основе никеля лучше всего осуществлять именно керамическими пластинами. Данный тип труднообрабатываемых материалов обычно применяется для производства изделий в аэрокосмической отрасли или в энергетике. Керамику на основе нитрида кремния (**AS20**) рекомендуют для высокоскоростной обработки точением и даже фрезерования материала Инконель 718. Данный сплав имеет высокую стойкость к выкрашиванию и умеренную температурную стабильность (рис. 6).

Компания **TaeguTec**, обновив линейку инструментов из керамики пластинами, изготовленными по технологии Wisker, предлагает для высокоскоростной обработки высокопрочных и жаропрочных материалов сплав **TC430** (рис. 7). Обладая «подложкой» из оксида алюминия (Al_2O_3) и нанесенными

кристаллами из карбида кремния (SiC) с повышенной стойкостью к окислению, новый сплав обеспечивает уникальные показатели стойкости и к выкрашиванию, и к стиранию. Сплав **ТС430**



ТС430

Рис. 7. Структура сплава ТС430

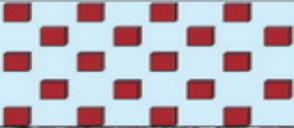
демонстрирует лучший результат при высоких температурах, связанных с высокими скоростями резания, благодаря комбинации уникальной физической микроструктуры и химических свойств. Эта особенность сплава **ТС430** позволяет обрабатывать жаропрочные материалы на основе никеля, такие как сплав Инконель, Веспаллой и Рене, сплавы на основе титана, кобальта, а также закалённые стали и чугуны на высоких скоростях резания. Область применения сплавов можно увидеть на рис. 6.

Общие данные о применении материалов из керамики в точении

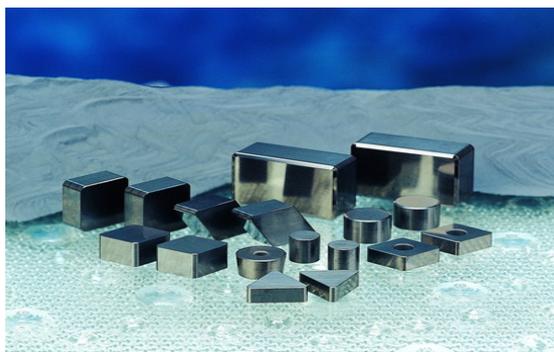
Керамические сплавы, в случае их оправданного применения, обеспечивают крайне высокую производительность и значительно сокращают машинное время и затраты на инструмент по сравнению с твердосплавными пластинами.

Характеристики керамических пластин **TaeguTec** представлены в табл. 3, где видно, что сплавы на основе нитрида кремния (**AS10** и **AS500**) имеют высокую стойкость к выкрашиванию по сравнению с материалами на основе оксида алюминия, обладающими более высокой твёрдостью.

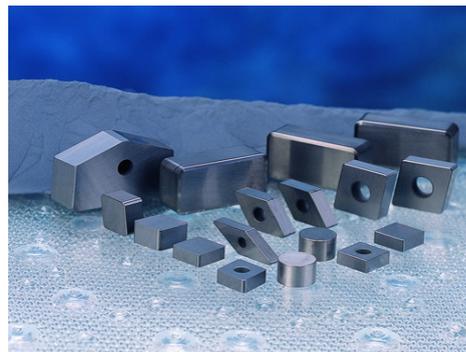
Таблица 3. Физические свойства керамических металлорежущих сплавов TaeguTec.								
Сплав	AW20	AB20	AB30	TC430	AS500	SC10	AS10	AS20
Состав	Al ₂ O ₃ ZrO ₂	Al ₂ O ₃ T(C,N)	Al ₂ O ₃ TiC	SiC Whisker	SiAlON	CVD Si ₃ N ₄	Si ₃ N ₄	Si ₃ N ₄ TiN
Плотность	4.05	4.3	4.25	3.74	3.21	3.22	3.22	3.5
Твёрдость HRa	93.8	94.5	94.5	95.1	93.9	93.6	93.7	93.0
Кс (MPa/m ^{1/2})	3.0	3.2	3.5	3.5	4.3	4.5	6.0	5.0
Особенность	← Химическая стабильность			Физическая стабильность →				
Применение	Чугун	Закалённая сталь	Чугун	Жаропрочные сплавы	Чугун		Жаропрочные сплавы	

Таблица 4. Состав керамических пластин на основе оксида алюминия и нитрида кремния			
Сплав		AS500 (Нитрид кремния)	AB20 (оксид алюминия)
Состав	Основа	Si ₃ N ₄	3.4
	Добавление	Al ₂ O ₃ или окись	TiC, TiN и т.п.
Стойкость к выкрашиванию		5-7	3-4
Твёрдость (Hv)		1600-1900	1800-2100
Схематическая диаграмма и микроструктура			
			

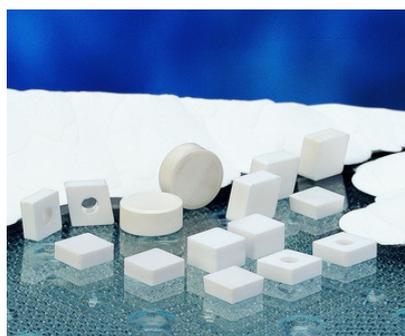
Детальное сравнение сплавов на основе нитрида кремния и оксида алюминия можно посмотреть в табл. 4. Учитывая, продолговатую микроструктуру зерен можно сделать вывод, что нитрид кремния достаточно вязкий, а значит, более механически прочный, чем оксид алюминия. В то же время оксид алюминия – более твердый материал по причине жесткой мелкозернистой структуры. Становится очевидной рекомендация сплавов **AS10** (или **AS500**) для черновой обработки чугунов, тогда как сплавы **AW20**, **AB20** и **AB30** следует применять для непрерывного чистового точения на высоких скоростях.



пластины из сплава AB20



пластины из сплава AB30



пластины из сплава AW20



пластины из сплава AS10

УДК 621.96

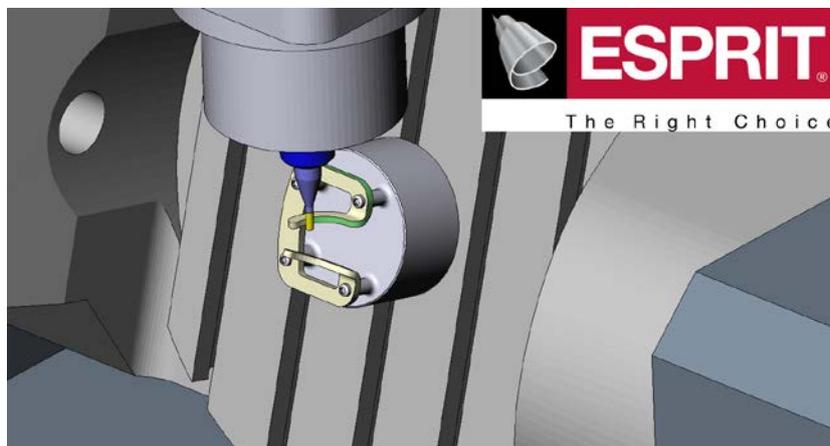
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ESPRIT-2014. ПРИЧИНЫ УСПЕХА В МИРЕ И В УКРАИНЕ

Кулик С.Г., главный сервис инженер
(Инжиниринговая Компания «ТВИСТ», г. Днепропетровск)

We justify the new features in version of ESPRIT-2014. The efficiency of its practical application and recommendations

Компания DP Technology (США) выпустила уже третий релиз рабочей САМ-системы ESPRIT версии 2014 года. Программа по-прежнему обладает мощным функционалом, позволяющим программировать токарные, фрезерные, электроэрозионные станки, обрабатывающие центры любой сложности. Наряду

с удобством программирования и эффективностью работы программы ESPRIT, разработчики побеспокоились о новых возможностях для максимального комфорта пользователя. Новинки уже реализованы в версии ESPRIT-2014 и успешно прошли тестирование в течение года на тысячах производственных площадках во всем мире. Подробнее рассказывают программисты и технологи компании «Твист Инжиниринг» (г. Днепропетровск).



Распознавание токарных Элементов

Теперь пользователи могут генерировать элементы для токарных операций автоматически при работе с 3D моделью детали или с ее профилем. Элементы будут относиться к одной или двум рабочим координатам, также созданным автоматически. Цепочки создаются вдоль наружных и внутренних профилей, канавок и торцов. Таким же удобным образом создаются Элементы ОТКТ для внутреннего сверления. Названия Элементов присваиваются в соответствии с их расположением и типом так, чтобы их было легко выбирать для создания токарных операций.

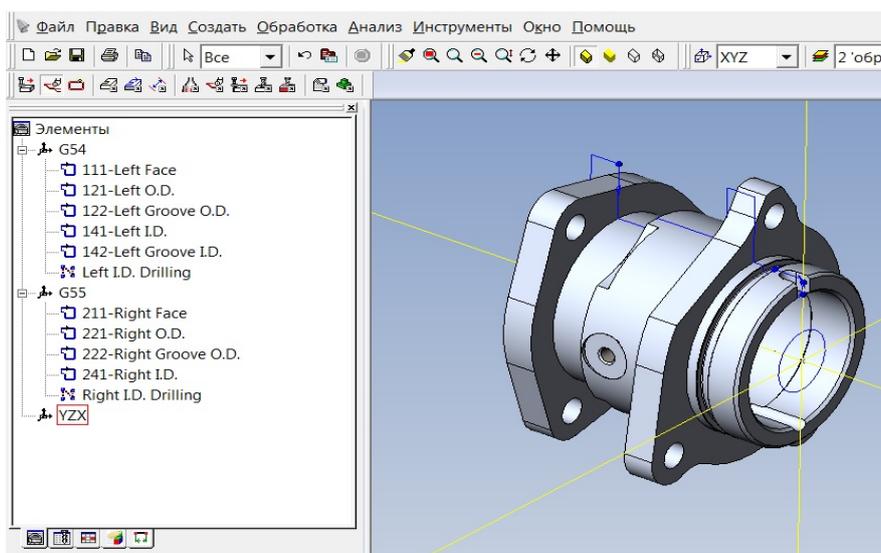


Рис. 1. Результат работы распознавания токарных элементов

Преимущества команды Распознавания Элементов:

- Позволяет программировать быстрее с использованием автоматических токарных элементов.
- Программисты могут создавать элементы и рабочие координаты буквально за несколько кликов мышкой.
- Использование наглядных названий элементов для быстрого выбора.

Генератор отчетов в Excel

Теперь отчеты об обработке из ESPRIT экспортируются в удобном и готовом для печати формате Microsoft Excel (.xlsx). В дополнение к графическому списку инструментов, операций, рабочих координат, отчет содержит инструкции для наладки, а также графики времени выполнения операций.



Рис. 2. Фрагмент отчета, созданного Генератором отчетов в Excel

Преимущества ESPRIT EXCEL® Генератора Отчетов:

- Минимизирует время наладки при помощи инструкций для оператора и списка всех необходимых для работы инструментов.
- Устраняет возможные ошибки оператора, используя точную информацию о текущем задании.
- Увеличивает производительность с графическими временными диаграммами различного вида.
- Позволяет убедиться, что процессы выполняются в правильном порядке, при помощи распечатанных отчетов для каждого задания.
- Позволяет сравнить текущую работу с аналогичными задачами для ускорения производственного процесса.

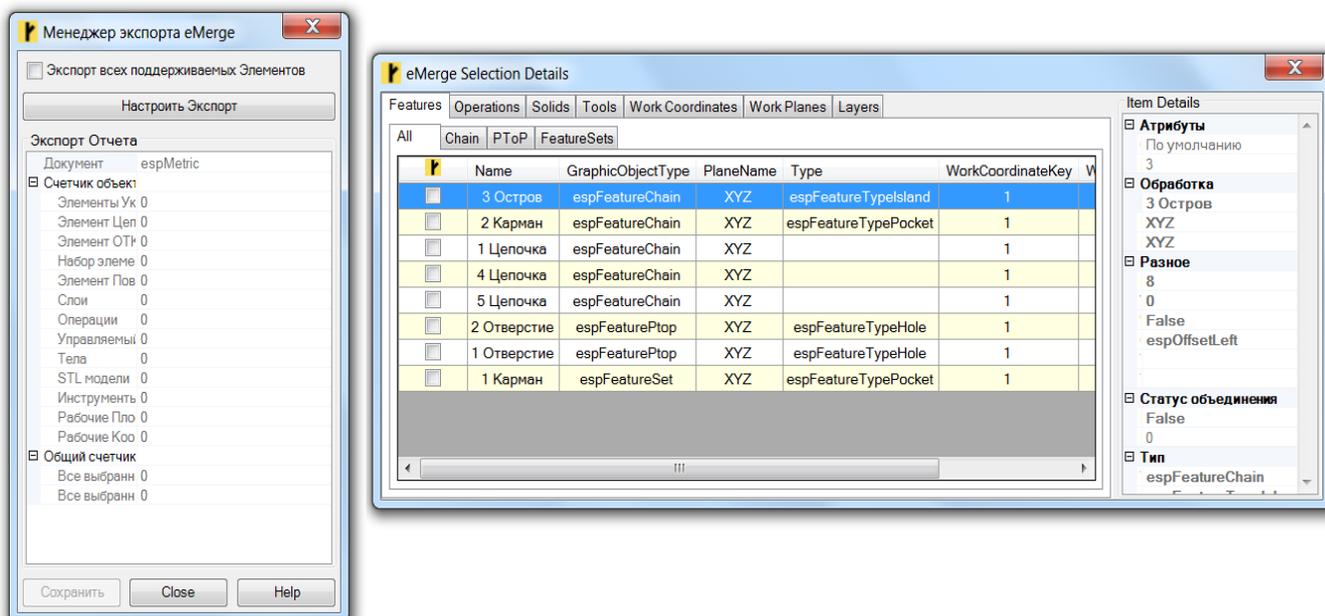
Плагин eMerge



Предоставляется возможность экспортировать (создавать) и импортировать (объединять) пакеты данных ESPRIT (*.emp) для передачи объектов из одного проекта ESPRIT (*.esp) в другой. Поддерживаемые типы объектов: элементы, слои, твердые тела, STL модели, рабочие плоскости и координаты.

В пакет для экспорта можно добавить все объекты или только выделенные объекты или же объекты из списка пользователя. Аналогично, при импорте пакета предоставляется возможность выбрать либо все объекты пакета, либо объекты из списка. Ассоциированные объекты, например, элемент, расположенный на отдельном слое и в рабочей координате, автоматически добавляются в пакет. Преимущества плагина eMerge:

- Увеличивает производительность процесса, импортируя данные в ESPRIT файлы.
- Позволяет подгружать данные в существующий документ ESPRIT без создания нового проекта.
- Упрощает обмен данными с другими пользователями ESPRIT.
- Сохраняет группу различных элементов в едином пакете данных.
- Позволяет улучшить согласованность этапов, создавая библиотеки, содержащие наборы часто используемых элементов.



Редактор Инструмента



Значительно упрощен процесс редактирования инструментов и их параметров Редактором Инструмента ESPRIT, который использует единый интерфейс для корректировки параметров множества инструментов. Существует два режима редактирования (Одиночный Редактор и Множественный Редактор), которые позволяют изменять параметры и общие свойства любого числа инструментов. При помощи закладок меню существует возможность сравнивать результаты от корректировки единичных параметров, таких как охлаждение, номер инструмента, геометрия инструментов и др. Более того, пользователь

может назначить режимы резания для всех операций, использующих определенный вид инструмента.

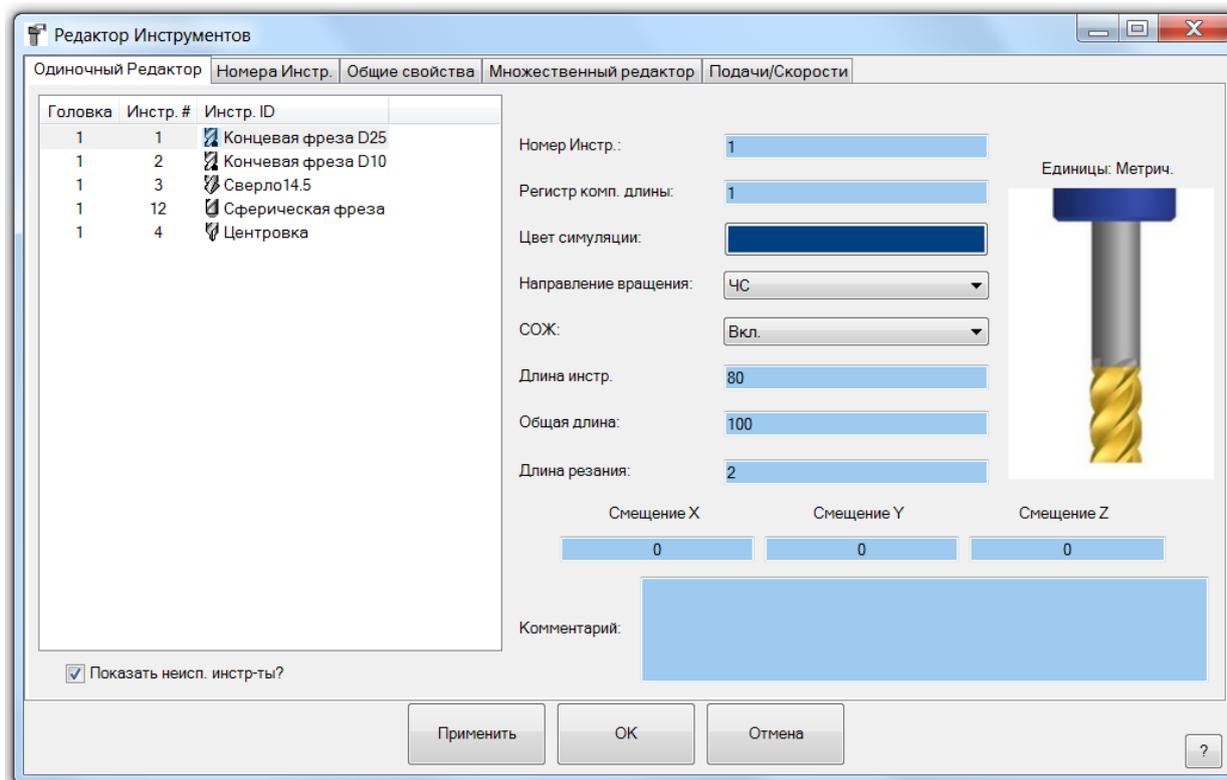


Рис. 4. Окно редактора инструментов

Преимущества Редактора Инструмента:

- Сокращает время на редактирование множества инструментов при помощи единого интерфейса.
- Снижает вероятность ошибки, сравнивая общие параметры множества инструментов.
- Улучшает согласованность с единым интерфейсом при назначении скоростей и подач для всех операций /инструментов.

Симулятор вращения кулачков

При помощи данной функции в токарных операциях предоставляется возможность включить динамическое вращение кулачков для проверки на наличие столкновений. Что действительно важно, ведь по понятным причинам есть вероятность некорректных результатов проверки при неподвижных кулачках. Во время токарных операций визуализация отображает полупрозрачную модель, представляющую профиль кулачков, повернутых на полные 360 градусов вокруг оси вращения шпинделя. Вращающиеся кулачки задействованы в проверке на столкновения. При неактивной функции, в процессе отработки визуализации, видны только неподвижные кулачки. Данная функция позволяет производить более реалистичное и безопасное моделирование обработки токарных операций.

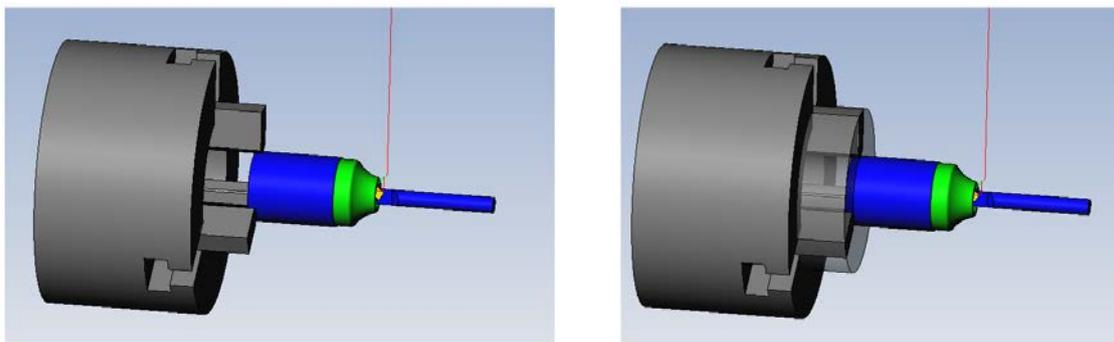


Рис. 5. Симуляция вращающегося патрона с неактивной и активной функцией вращения кулачков

Таким образом, специалистами украинского центра обслуживания системы ESPRIT произведен обзор лишь некоторых комфортных функций обновленной версии программы. Более наглядно ознакомиться с новыми функциями одной из самых популярных в мире САМ систем можно достаточно просто. Необходимо запросить временную лицензию в полной версии в департаменте программирования и технической поддержки компании «Твист Инжиниринг»:



г. Днепропетровск
068-445-76-71
068 445-76-67
kulik@twist.dp.ua
sizyuhin@twist.dp.ua

УДК 621.96

МОНОЛИТНЫЕ ФРЕЗЫ TAEGUTEC НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Середюк Н.В., главный технолог по фрезерному инструменту
(ООО «ТАЕГУТЕК УКРАИНА», г. Днепропетровск)

The paper presents the design of monolithic milling company TaeguTec a new generation of high-performance processing

На украинском и мировом рынке компания TaeguTec зарекомендовала себя как сильный производитель инструмента с механическим креплением пластин, создавший серьёзную конкуренцию производителям из Швеции, Германии и США. Не останавливаясь на успехах в производстве подобного инструмента, компания продолжает создавать уникальные и конкурентные решения в других областях, в частности, в производстве монолитного твердосплавного инструмента.

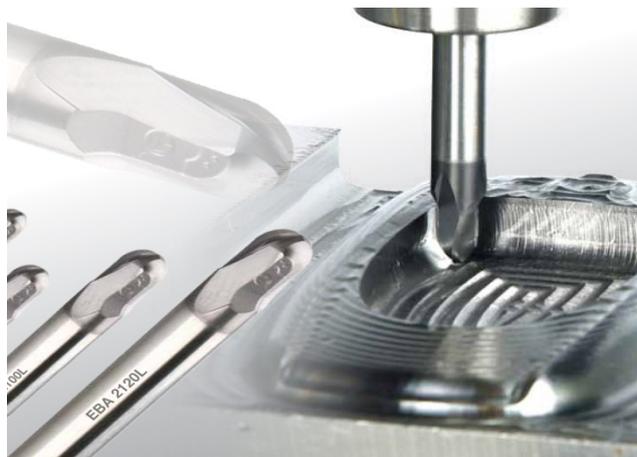


Рис. 1. Прессованные сферические фрезы серии SOLIDBALL

С начала 2012 года, в компании **TaeguTec** в Южной Корее запущены в серийное производство три новые серии монолитного фрезерного инструмента - **SOLIDBALL**, **SOLIDFEED** и **VFIMILL**, нацеленные на увеличение производительности и уменьшение капитальных затрат на закупку подобного вида инструмента. Обычно, для производства монолитных фрез используются заготовки в виде твердосплавных прутков, из которых получают твердосплавные сверла, фрезы, развертки и другие типы инструментов методом создания необходимой геометрии на многоосевых шлифовальных станках.

Для формирования необходимых углов, канавок, стружкоотводящих каналов иногда производится до 15 различных операций шлифовки на одном прутке! На эти операции затрачивается большое количество станочного времени, что в совокупности с высокой стоимостью оборудования накладывает большой отпечаток на себестоимость инструмента.

Серия фрез SOLIDBALL

Новая серия **SOLIDBALL** – это ПЕРВЫЕ в МИРЕ прессованные сферические фрезы (рис.1), предназначенные для производительной обработки криволинейных поверхностей деталей типа «пресс-формы и штампы».

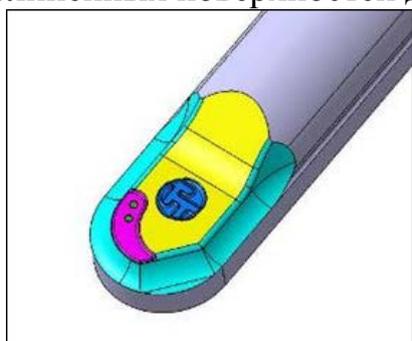


Рис. 2. Прессованная заготовка

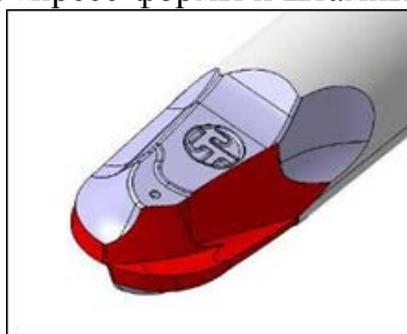


Рис. 3. Режущая кромка серии SOLIDBALL SOLIDBALL после шлифования

Основная идея новинки – это выпуск прессованной заготовки (рис. 2), которую остается заточить лишь по режущим кромкам (рис. 3), сократив, таким

образом, в разы машинное время обработки прутка и уменьшив себестоимость инструмента в целом. За счет уникального дизайна режущей части, фрезы данной серии применяются для черновых операций, а также для высокоскоростной чистовой обработки закаленных сталей.

Диапазон диаметров фрез варьируется от 6 мм до 12 мм, перекрывая основной диапазон обработки деталей небольших размеров.

Проведенные в Техническом Центре **TaeguTec** испытания показали, что стойкость серии фрез **SOLIDBALL** по сравнению с рекомендуемой ранее фрезой подобного типа, выше на **37%!** Данные результаты были получены при обработке закаленной стали (табл. 1).

Таблица 1

Обычная фреза TaeguTec		SolidBall TaeguTec
Инструмент	Ø6, 2 зуба SBE 2060T TT1040	Ø6, 2 зуба EBA 2060L TT1040
Режимы резания	Обороты: S=12000 об/мин Подача: F=3500 мм/мин Глубина резания: Ap=0.2 мм Ширина резания Ae=0.2 мм	Обороты: S=12000 об/мин Подача: F=3500 мм/мин Глубина резания: Ap=0.2 мм Ширина резания Ae=0.2 мм
Стойкость	5-6 часов	7-8 часов

Серия фрез SOLIDFEED – лучшее решение для пресс-форм и штампов

В машиностроении и металлургии существуют различные по исполнению и габаритным размерам пресс-формы и штампы. Как правило, крупногабаритные детали модельной оснастки обрабатываются фрезами с механическим креплением твердосплавных пластин со специальной геометрией кромки с целью достичь максимальной производительности при обработке на черновых операциях. На мелкогабаритных же деталях обычно применяют монолитные твердосплавные фрезы малых диаметров, неэффективных на черновых операциях, но незаменимых при необходимости обработки точных криволинейных формообразующих поверхностей.

Следующая новинка от компании **TaeguTec** – серия фрез **SOLIDFEED** (рис. 4), созданная для высокопроизводительной обработки на черновых операциях мелких и крупных формообразующих деталей сложной конфигурации. Фрезы этой серии используются для снятия значительных объемов металла за минимальное количество времени и работают на подачах до 1 мм/зуб при глубине резания до 1,2 мм.

Использование инструмента на столь высоких режимах резания возможно за счет специальной фаски (рис. 5), находящейся при вершине инструмента. При такой геометрии, фреза имеет низкие усилия резания по сравнению с инструментом сферической формы и с фрезами, имеющими значительные радиусы режущей кромки. Вышеуказанные серии фрез производятся в сплаве **TT1040** (покрытие AlTiN и субмикронная основа UF10N), что позволяет обрабатывать не только обычные стали для форм и штампов, но и закаленные стали с твердостью до HRC45.



Рис. 4. Фрезы серии SOLIDFEED для высокопроизводительной обработки

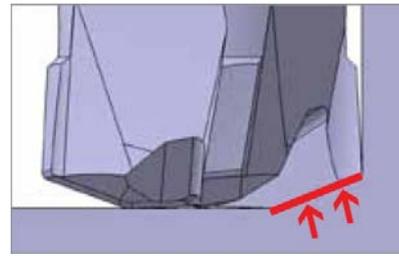


Рис. 5. Фаска при вершине инструмента серии SOLIDFEED

Весь размерный ряд фрез серии **SOLIDFEED** предлагается в 2-х и 4-х зубом исполнении с диапазоном режущих диаметров от 6 мм до 12 мм.

Сравнительная табл. 2 показывает повышение производительности в 3,5 раза, по сравнению с подобным инструментом других производителей.

Таблица 2

	ТаегуТес	Конкурент
Инструмент	HFM 2100 TT1040	Ø12 R1, 2 зуба Фреза с радиусом при вершине R1
Режимы резания	Обороты: S=5500 об/мин Подача: F=11000 мм/мин Fz=1мм/зуб Глубина резания: Ap=0,4 мм Ширина резания Ae=4,5 мм	Обороты: S=2700 об/мин Подача: F=2000 мм/мин Fz=0,37 мм/зуб Глубина резания: Ap=0,4 мм Ширина резания Ae=4,5 мм
Время обработки	2 мин	7 мин

Серия фрез VFIMILL

Еще одна новинка – серия фрез **VFIMILL** (Vibration Free Mill - фреза без вибраций), предназначенная для высокопроизводительной черновой и чистовой обработки. Основной особенностью серии является минимизация вибраций в процессе резания, что невероятно актуально для работы с большим вылетом инструмента при обработке глубоких карманов и пазов. Основными факторами, которые позволяют снижать вибрации в результате обработки, является неравномерное расположение зубьев на фрезе (рис. 6) и угол наклона спирали – 38°.

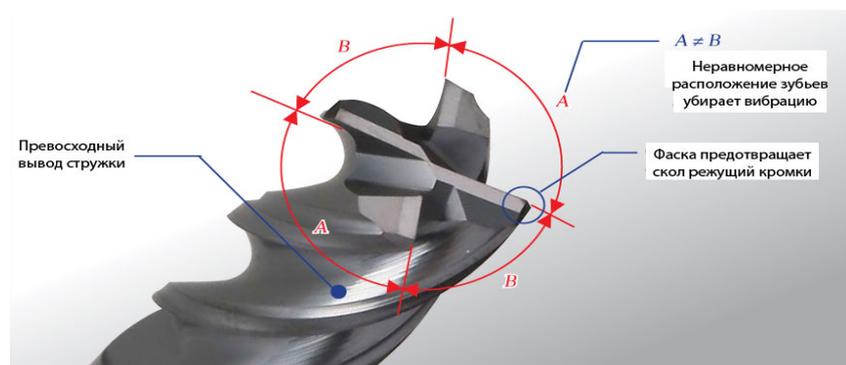


Рис. 6. Зубья на фрезе серии VFIMILL

Vfimill – хорошее решение при обработке сталей, чугунов и жаропрочных сплавов на маломощных фрезерных станках с конусом шпинделя не выше ВТ-30 и ВТ-40. Хорошие рекомендации получил инструмент данной серии и для фрезерования на увеличенных глубинах резания с целью повышения общей производительности.

УДК 621. 23.54

СТРАТЕГИЯ И РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Азаров А.В., главный технолог отдела оборудования
(ООО «ВАРИТЕК», г. Днепропетровск)

Generalized algorithm design process assembly includes all the key stages of the development process technology assembly. Such an algorithm can be adopted as the basis for the development of a CAD assembly, which is based on the three-dimensional model of the product

Сборочные работы являются завершающим этапом изготовления машин и механизмов. Он в значительной степени определяет качество машиностроительной продукции. По оценкам специалистов трудоемкость проектирования технологии сборки составляет 25–35 % от общей трудоемкости проектирования изделия. Поэтому задача оперативного проектирования на основе создания информационных моделей является важной и актуальной. Это в первую очередь связано с повышением производительности на этапе проектирования, повышением качества машиностроительной продукции и возможным гибким реагированием на запросы рынка [1].

В свою очередь продуктивность сборочных операций зависит, в том числе, и от технологии проектирования сборки.

Проектирование технологического процесса сборки (ТПС) – сложная и рутинная работа, требующая значительных затрат времени, связанных с анализом и трудоемким расчетом размерных цепей.

Анализ существующих программных продуктов показал, что существуют развитые программные средства для проектирования и конструирования (CAD/CAE) самого изделия, а также систем для управления технологическим оборудованием и производственными процессами (CAM/CAPP). В тоже время уровень развития систем, которые позволили бы в автоматическом режиме реализовать технологическую подготовку производства (CAPE – Computer Aided Production Engineering), достаточно низкий. На сегодняшний день не существует системы, которая позволяет по трехмерной модели или чертежу сборочного изделия (СИ) автоматически синтезировать наилучшую технологию сборки. Анализ существующих подходов и методов решения задач автоматизированно-

го проектирования технологии сборки указывает на наличие моделей и алгоритмов решения только отдельных задач технологической подготовки и реализации сборочного производства и на отсутствие методологии решения всего комплекса задач. К тому же значительная часть разработанных алгоритмов ориентирована на активное вмешательство человека. Поэтому особенно актуальным на современном этапе развития производства становится разработка концепции автоматизированного проектирования технологического процесса сборки (ТПС).

Решение задач автоматизированного проектирования включает:

I. Анализ сборочного изделия и формирование его математической модели.

1. Определение первичной информации, которую можно получить непосредственно из 3D-модели сборочного изделия:

- определение структуры сборочного изделия;
- определение номенклатуры элементов изделия;
- определение параметров положения;
- определение размерных характеристик;
- определение возможных направлений сборки и монтажных групп элементов изделия;
- определение контактных отношений ограничения подвижности;
- определение удаленных отношений ограничения подвижности.

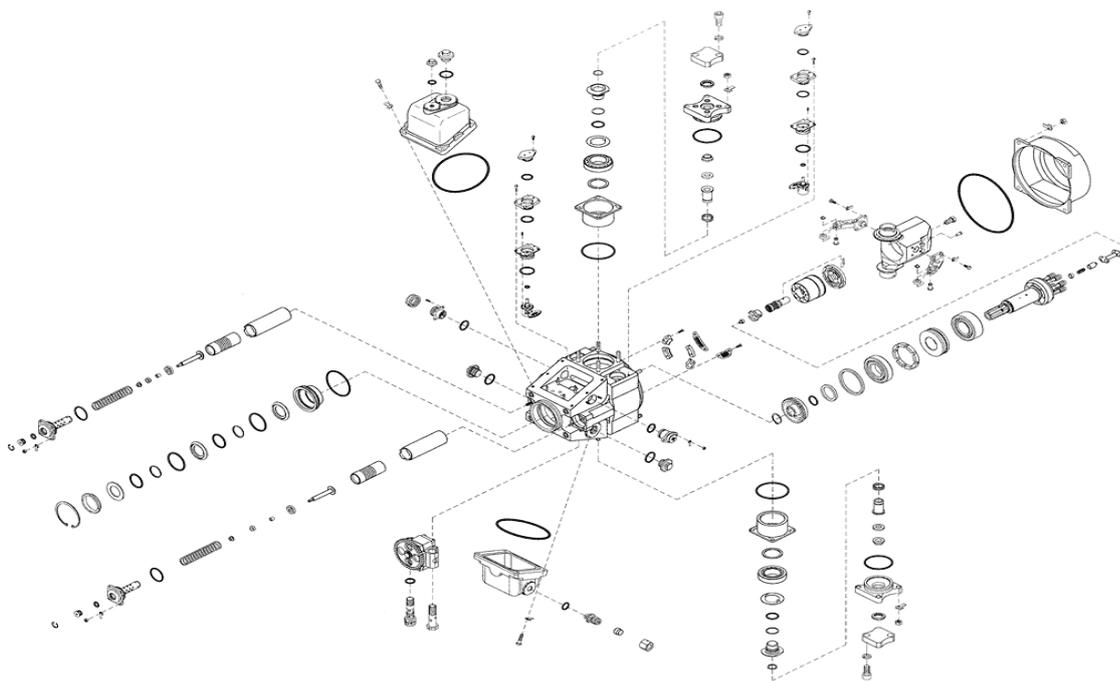


Рис. 1. Пример сборочного изделия, иллюстрирующий в 3D-модели количество возможных операций сборки

2. Определение вторичной информации, которая формируется путем анализа и преобразования первичной информации:

- определение типов и состава соединений, которые обеспечивают целостность сборочного соединения;

- определение значащих направлений сборки;
- определение технологических групп деталей.

II. Генерация последовательностей разборки изделия:

- "разрушение" соединений, которые обеспечивают целостность на уровне сборочного изделия;
- определение базовых элементов изделия;
- удаление деталей на уровне изделия.

III. Синтез последовательностей сборки изделия.

На рис. 2 представлена структурная схема обобщенного алгоритма проектирования технологического процесса сборки.

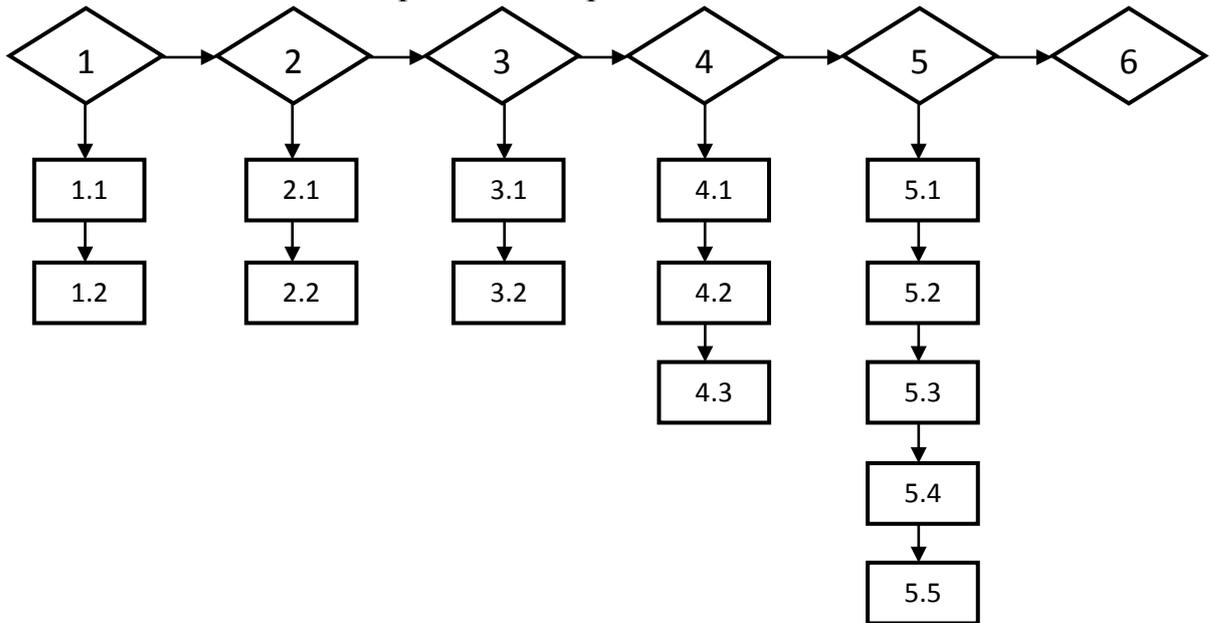


Рис. 2. Алгоритм проектирования технологического процесса сборки

В табл. 1 приведена расшифровка составляющих алгоритма проектирования технологического процесса сборки. Определение типа производства и вида сборки по организации производства и по перемещению собираемого объекта. Для этого используют ориентировочную трудоемкость сборки. Так как трудоемкость может быть подсчитана только после разработки технологического процесса, то предварительно для определения типа производства могут быть использованы данные о трудоемкости изготовления аналогичных изделий [5].

Второй этап включает работы по изучению сборочных единиц, технических условий на изготовление и контроль всего изделия и отдельных сборочных единиц, методик испытаний, моделей деталей, входящих в сборочные единицы. При этом проверяются размеры, выдерживаемые при сборке; зазоры или натяги в соединениях, которые должны быть обеспечены сборкой; технические условия сборки отдельных узлов и изделия в целом [2]. В результате анализа соответствия технологичности конструкции данного изделия общим рекомендациям и технологичности конструкции сборочных единиц улучшается технологичность всей конструкции.

Таблица 1

№ этапа и шагов	Наименование этапа и его содержание
1	Определение типа производства и вида сборки
1.1	Определение типа производства
1.2	Определение вида сборки
2	Технологическая проработка сборочных единиц
2.1	Описание сборочных единиц и технологических условий их производства
2.2	Анализ технологичности конструкции
3	Определение метода сборки
3.1	Выявление размерных взаимосвязей и составление схем размерных цепей
3.2	Расчет размерных цепей
4	Разработка технологических схем и плана операций (маршрута) сборки
4.1	Разработка технологических схем
4.2	Разработка плана операций (маршрута) сборки
4.3	Анализ дифференциации и концентрации операций
5	Проектирование отдельных операций
5.1	Определение содержания, характеристик и последовательности соединения отдельных деталей и сборочных единиц, а также режимов сборки
5.2	Определение требуемого оборудования, приспособлений и инструмента
5.3	Определение средств технического контроля и испытаний
5.4	Определение технологических норм времени
5.5	Определение требуемой квалификации персонала
6	Оформление технологической документации

Метод сборки изделия – это совокупность правил достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи при сборке.

Под точностью сборки следует понимать свойство процесса сборки обеспечивать соответствие значений параметров изделия, заданных в конструкторской документации (ДСТУ 2390-94). В результате сборки должно быть обеспечено такое взаимное положение деталей и сборочных единиц, чтобы их функциональные поверхности или сочетание этих поверхностей в своем относительном движении, а также в стабильном состоянии, не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации изделия. Одним из средств определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является расчет и анализ размерных цепей [6].

Для разработки ТПС вначале необходимо составить технологическую схему сборки, представляющую собой графическое изображение последовательности соединений отдельных составных частей изделия (сборочных единиц и деталей). Технологические схемы сборки можно составлять в нескольких вариантах, отличающихся как по структуре, так и по последовательности выполнения сборки. Число вариантов тем больше, чем сложнее собираемое изделие.

На выбор варианта схемы, графически отображающей процесс сборки, влияют число сборщиков, трудоемкость и себестоимость выполнения сборки.

При проектировании отдельных операций в каждой операции определяется:

1) содержание, характеристика и последовательность соединений отдельных деталей и сборочных единиц по ранее отработанной технологической схеме сборки;

2) оборудование, приспособления и инструмент в зависимости от принятого ранее вида сборки;

3) определение технологической нормы времени на сборочные работы ведется по отдельным переходам с использованием соответствующих нормативов базы данных;

4) квалификация (разрядность) в зависимости от сложности, габарита, массы собираемых сборочных единиц, требуемой точности соединений, конкретных условий производства определяется автоматически по таблицам квалификационных справочников и может корректироваться технологом.

ТПС оформляется в текстовых и графических документах, регламентированных стандартами Единой системы технологической документации (ЕСТД). Для описания технологических процессов сборки согласно ГОСТ 3.1103-81 и ГОСТ 3.1407-86 применяются документы общего и специального назначения. Документы общего назначения: титульный лист; карта эскизов; технологическая инструкция. Документы специального назначения: маршрутная карта, карта технологического процесса, операционная карта, карта типового (группового) технологического процесса; карта типовой (групповой) операции; ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (операции); комплектовочная карта; ведомость оснастки. Применение тех или иных форм документов определяется типом производства, видом операции и степенью углубленности разработки (ДСТУ 3321-96).

Выводы. Обобщенный алгоритм проектирования технологического процесса сборки включает все ключевые этапы разработки техпроцесса сборки. Предложенный алгоритм может быть принят за основу при разработке САПР сборки, которая базируется на основе трехмерных моделей изделия.

Список литературы: 1. Арпентьев Б.М. Механизация и автоматизация сборочных работ на машиностроительных предприятиях / Б.М. Арпентьев, А.С. Зенкин, А.Н. Куцын. – К.: Техника, 1994. – 232 с. 2. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с. 3. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении / Б.Е. Челищев, И.В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер; Под ред. акад. Н.Г. Бруевича. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с. – (Гибкие производственные системы). 4. Автоматизированное проектирование в машиностроении / Пер. с нем. Г.Д. Волковой и др.; Под ред. Ю. М. Соломенцева, В. П. Диденко. – М.: Машиностроение, 1988. – 648 с. 5. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машино- и приборостроения: справочник. – М.: Машиностроение, 1995. – 608 с. 6. Системы автоматизированного проектирования и размерного анализа технологических процессов / И.П. Дерябин и др. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 236 с. 7. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 598 с.

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 679.18:536.7-531.3.07

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СВОЙСТВ ЧУГУНА НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОБЕ И В РАБОЧЕМ СЛОЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, **Сидашенко А.И.**, канд. техн. наук,
Власовец В.М., канд. техн. наук, **Соколов Р.Г.**
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

The evaluation of error is executed at determination of chemical composition of working layer of rollers on the poured test, sprat, and by a traditional method. Recommendations are given in relation to the improvement of control authenticity

Введение. Применение центробежного способа литья для производства двухслойных валков с рабочим слоем из хромоникелевого и хромоникельмолибденового чугуна позволяет существенно повысить уровень эксплуатационных свойств таких изделий за счет формирования однородного рабочего слоя без существенного спада твердости [1, 2]. Однако для оценки химического состава в настоящее время применяют три способа – общий химический состав и локальный спектральный на образцах вырезанных из торцевой части бочки валка при механической обработке, а также на специальной литой пробе при экспресс-анализе. Вместе с тем неизвестно, как литые пробы соответствуют готовому массивному изделию.

Целью работы является проведение статистических исследований по определению показателей качества литой пробы и чугуна центробежнолитого прокатного валка с установлением возможности прогнозирования свойств в процессе ведения плавки.

Экспериментальные исследования. При проведении сопоставительных исследований оценивали свойства на литой пробе Ø25 мм в различных её зонах и на кольцах, вырезанных непосредственно из прокатного валка из нижней и верхней частей бочки на расстоянии 5, 10, 15, 20 и 25 мм от литой поверхности. Оценивали содержание элементов, структуру металла, твердость и долю остаточного аустенита. Состав сплавов определяли химическим и спектральным методами. Исследование микроструктуры проводили на микрошлифах после подготовки поверхности на металлографическом микроскопе МИМ-8М и переносном ТКМ при увеличении ×100. Анализируемые поверхности травили 4%-м раствором азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте (ГОСТ 5639).

Содержание остаточного аустенита оценивали прибором МА-52, а твердость определяли по Шору. Сравнение структуры и свойств производили на

пробе, отлитой непосредственно перед заливкой валка. Анализировали отлитые центробежным методом валки исполнения ЛПХНМдц-73 Ø626-820 мм, длиной 1800-2300 мм и ЛПХНдц-71 Ø670 мм, длиной 1800 мм.

Для валков диаметром 670 мм исполнения ЛПХНдц-71 характерна близкая морфология структуры и количество карбидной фазы 35-40% (рис. 1). Даже незначительное изменение количества вводимого модификатора Superseed[®] inoculant для такого чугуна – 1-2 кг существенно влияет на его свойства. С увеличением его количества до 2 кг повышается содержание темной трооститной составляющей до 25-30%, что снижает уровень твердости – 71 HS. Для чугуна с добавками 1 кг модификатора отмечена максимальная твердость – 76-77 HS и минимальный уровень троостита. Основную долю матрицы составляет мартенсит. Дополнительное введение 3 кг *FeSi* при модифицировании чугуна 1,5 кг Superseed[®] inoculant способствует формированию повышенного количества карбидной фазы – до 35-40%, что способствует колебаниям твердости в широких пределах 70-75 HS.

Изменение диаметра отливки валков ЛПХНМдц-73 с 626 мм до 820 мм практически не влияет на уровень свойств.

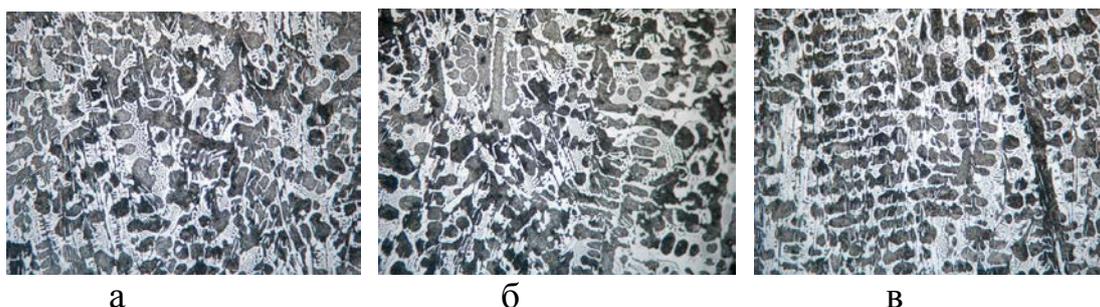


Рис. 1. Микроструктура хромоникелевого чугуна с различным содержанием темной трооститной составляющей и твердостью: а – 76-77 HS (17-20%); б – 70-71 HS (25-30%); в – 70-75 HS (20-25%). Травление 4%-м раствором HNO_3 , $\times 100$

Твердость и H_c увеличиваются на 2,7-5,5% (с 72-74 до 76 HRC) и 0,86% (с 34,7 до 35 А/см) соответственно, что связано с отличающимся содержанием легирующих элементов – *Mo* и *V*, а также низкой концентрацией *Cu* – 0,04% (остаточное содержание) по сравнению с 0,12% (введено модифицирующей присадкой *Cu-Mg* лигатурой) для валка малого диаметра. Повышенное содержание меди способствует формированию большего количества графита до 5,3% и троостита, снижающих твердость. В чугуне валка большего диаметра меньше графита – до 2,8%. Количество цементита у этих валков практически одинаково 34,7-35,2%. Для валка малого диаметра характерен спад твердости по глубине – до 4%, что связано с увеличением скоплений графита и размера включений карбидной фазы. Меньшая скорость охлаждения у валка с большим диаметром способствует формированию повышенного содержания остаточного аустенита – 3-5%, по сравнению с валком меньшего диаметра 1-3%.

Для валков исполнения ЛПХНМдц-73 повышенная твердость 77-79 HS характерна для чугуна при кристаллизации которого кристаллизуется повышенное содержание карбидной фазы грубого строения – 30-35% и, вероятно, повышена легированность матричной фазы (рис. 2).

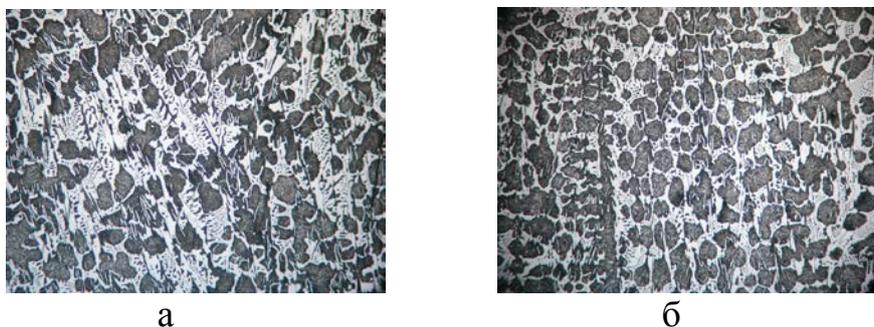


Рис. 2. Микроструктура хромоникельмолибденового чугуна с различным содержанием карбидной фазы и твердостью: а – 77-79 HS (30-35%); б – 74-76 HS (35-40%). Травление 4%-ным раствором HNO_3 , $\times 100$.

Для чугуна, при кристаллизации которого выделяется повышенное количество карбидной фазы тонокого строения 25-30% отмечается пониженная твердость – 74-76 HS. Для чугуна с пониженной твердостью характерен повышенный уровень коэрцитивной силы – 35-37 А/см (по сравнению с 30-32 А/см с повышенной), что может также свидетельствовать о выделении массивных включений цементита, обладающих большей магнитной анизотропией. Добавка в ковш флюса уменьшает размер дендритов, обеспечивает однородную твердость по глубине, однако она не превышает - 76 HS. Матричная фаза чугуна более дисперсна (рис. 3), что совместно с повышенным содержанием цементита увеличивает коэрцитивную силу до 35-37 А/см. Установлено, что оценки отклонений в содержании компонентов по пробе и кольцу незначительно отличаются для стационарно- и центробежнолитых хромоникельмолибденовых валков.

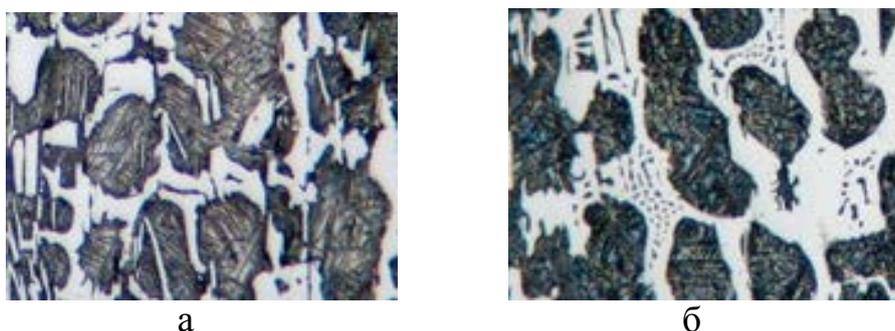


Рис. 3. Микроструктура матричной фазы хромоникелевого чугуна модифицированного: а – 1,5 кг Superseed® inoculant и 20г. *Te* (78-79 HS); б – 2 кг Superseed® inoculant, 20г. *Te* и флюс (75 HS). Травление 4% раствором HNO_3 , $\times 800$

Оценка содержания углерода по кольцу дает нестабильные результаты – разбег в показаниях достигает 6,05%. Литая проба позволяет более точно оце-

нивать концентрацию этого элемента – колебания в показаниях в различных зонах пробы не превышают 0,7%. Отмечена тенденция, в соответствии с которой при увеличении содержания углерода колебания в его концентрации несколько смещаются в сторону уменьшения показаний. Однако для хромоникелевого чугуна такая тенденция отсутствует.

Литая проба обеспечивает меньшее отклонение при определении содержания кремния – не более 2,06% (определение на кольце за счет ликвации увеличивает отклонения до 4,54% для всех чугунов). Для модифицированного *FeSi* чугуна валков, такая ликвация способствует интенсивному спаду твердости по глубине – до 12,69%). Оценка содержания марганца по кольцу дает разброс значений, который достигает 9,20%. На литой пробе концентрация этого элемента имеет разброс значений не более 2,0%. С увеличением глубины рабочего слоя концентрация марганца несколько повышается.

Наиболее достоверные оценки содержания фосфора в чугуне дают измерения на литой пробе - ошибка измерений не превышает 5,20%, в то же время на кольце она достигает – 15,1%. Для центробежнолитого чугуна характерна пониженная концентрация этого элемента – 0,06-0,084%. Несколько повышенная концентрация фосфора отмечена на глубине 15-20 мм, в среднем на 5-7% выше, чем на глубине 5-10 мм. Установлен достаточно узкий интервал изменения концентрации серы в исследованном чугуне и низкий её уровень (0,051-0,026%). Вместе с тем неоднородность распределения достигает до 4,55% на литой пробе и до 43,9% на кольце. На глубине 15-20 мм концентрация серы повышается на 5% от указанных пределов. Литая проба обеспечивает меньшие колебания при определении содержания хрома – (не более 0,65%). Определение на кольце увеличивает разброс на 5,53%. Литая проба практически не имеет ликвации никеля. Его колебания в различных зонах не превышают 0,76%, а для кольца она возрастает в 7 раз (отклонения до 5,39%). Отличия в ликвации молибдена в чугуне литой пробы от кольца выражены для центробежнолитых по сравнению со стационарно литыми более значительно и составляют 3,7% и 17,6% для первых, а 4% и 6,37% соответственно для вторых. Значительной ликвации молибдена по глубине рабочего слоя не выявлено.

Выводы. Оценки отклонений в определении химического состава по пробе и кольцу незначительно отличаются для стационарно- и центробежнолитых хромоникельмолибденовых валков. Наиболее заметное отличие наблюдается в отклонении определения на кольце кремния для хромоникелевого чугуна и молибдена для хромоникельмолибденового. В первом случае такое отклонение обусловлено введением дополнительно *FeSi* лигатуры при модифицировании чугуна, не только усилило его ликвацию, но и также увеличило неоднородность твердости по длине бочки 70-75 HS и по глубине рабочего слоя 73-75 HS.

Список литературы: 1. Davis J.R. Cast iron. / J.R. Davis – Cleveland: ASM International, 1996. – 494 p. 2. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов / Скобло Т.С., Будагьянц Н.А. и др. – М.: Металлургия, 1984. – 384 с.

МЕТОД ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПАНЕЛЕЙ КРЫЛА САМОЛЕТА

Сикульский В.Т., канд. техн. наук, **Воронько В.В.**, докт. техн. наук,
Воронько И.А., мл. науч. сотрудник
(Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»)

When bending to ensure the conservation form products such as panels provided a device that allows you to bend and mold the panel as a monolithic slab

Монолитные панели крыла и фюзеляжа широко применяются при создании современных самолетов и имеют свои преимущества по сравнению со сборной конструкцией. Такие панели имеют не только большие габариты, но и двойную знакопеременную кривизну, нерегулярную внутреннюю гравюру, разновысотность и разнотолщинность участков жесткости. Эти конструктивные особенности значительно затрудняют применение основных методов формообразования.

Перспективным для сохранения ресурса материала, минимизации его повреждений и остаточных напряжений, обеспечения качества изготовленной панели является формование в медленных режимах установившейся ползучести, когда напряжения ограничены окрестностью предела упругости и формообразующей является постепенно накапливающаяся деформация ползучести.

С уменьшением скорости деформации «ресурс пластичности», т.е. величина деформации в момент разрушения, как правило, возрастает, что приводит к существенному сохранению эксплуатационного ресурса на стадии изготовления деталей. Релаксационные процессы, протекающие при медленных режимах деформирования, приводят к снижению усилий формообразования, значительному уменьшению «распружинивания» деталей, существенному ослаблению влияния начальных и граничных условий на получение конечной геометрической формы детали. Но такой метод предусматривает нагрев заготовок, что увеличивает стоимость производства панелей в случае их больших габаритов.

Для обеспечения сохранения формы изделия при гибке было предложено устройство, которое позволяет изгибать и формовать панель как монолитную плиту. Для достижения повышенного качества изделия предлагается оправка, снабженная силовым элементом и дополнительными призматическими вставками с наклонными поверхностями. Профилированные призматические вставки выполнены с наклонными поверхностями, взаимодействующими с наклонными поверхностями дополнительных призматических вставок. Силовой элемент - в виде упругого клина и установленных симметрично относительно его оси призм, взаимодействующих с дополнительными призматическими вставками.

Новое устройство, относящееся к обработке металлов давлением, позволяет расширить технологические возможности процесса формообразования панелей, повысить качество изделий, получаемых на нем гибкой.

На рис. 1 изображен общий вид предлагаемой оправки:

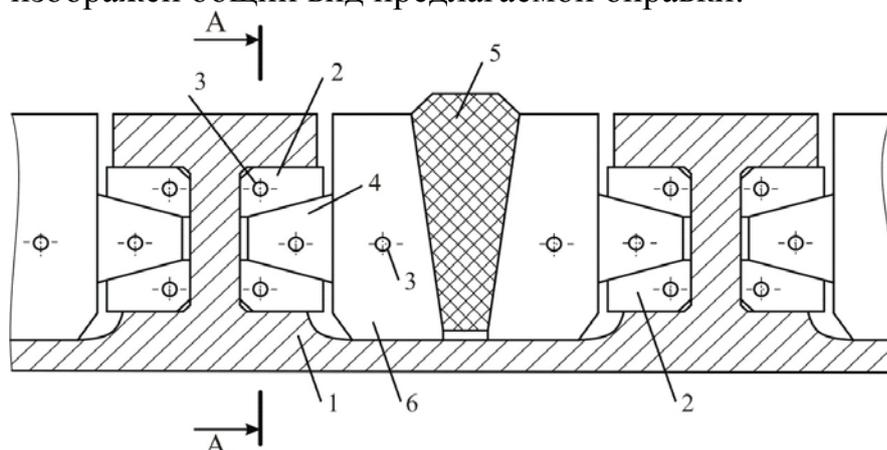


Рис. 1. Оправка для гибки панелей с Т-образными выступами

В плоскость, образованную Т-образными выступами панели 1, установлены профилированные призматические вставки 2, соединенные гибким шлангом 3. Профилированные призматические вставки 2 выполнены с наклонными поверхностями дополнительных призматических вставок 4. Силовой элемент выполнен в виде упругого клина 5, установленного между призмами 6. Панель 1 вместе с оправкой подвергается гибке между пуансоном 7 и матрицей 8.

Оправка работает следующим образом (рис. 2 и рис. 3): при действии давления от пуансона 7 упругий клин 5 сжимается и воздействует через призмы 6 на дополнительные призматические вставки 4, которые, в свою очередь, перемещаясь, раздвигают профилированные призматические вставки 2.

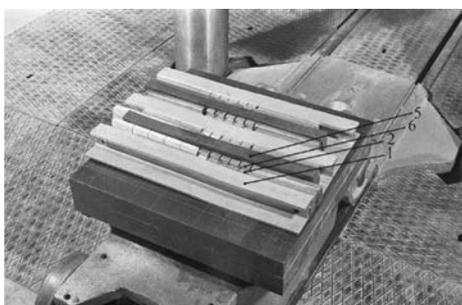


Рис. 2. Образец панели с Т-образным оребрением с установленной оправкой

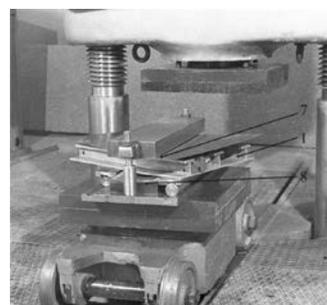


Рис. 3. Внешний вид штампа для формовки с использованием оправки

Осуществляется подпор Т-образных выступов панели, которые сохраняют форму в процессе ее изгибания. По окончании процесса гибки упругий клин легко извлекается и вынимаются все остальные элементы оправки.

Испытание на образцах показало: достаточную точность формообразования панелей, а также отсутствие прогиба у полотна между ребрами. Данное приспособление позволяет формовать местную двойную кривизну панелей. Поэтому его можно рекомендовать для использования в заготовительно-штамповочном производстве авиационных предприятий.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА НЕПРЕРЫВНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Крюк А.Г., канд. техн. наук, **Стрелецкий В.В.**

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца)

The paper discusses the conditions of increase of efficiency of the method of continuous pressure profiling sheet materials

В настоящее время широкое развитие получил один из прогрессивных методов обработки металлов давлением – метод непрерывного профилирования листового металла на профилегибочных агрегатах. Продукцией, получаемой данным способом, являются гнутые профили. Этот метод позволяет получать профили не только различной и сложной конфигурации поперечного сечения, в том числе замкнутых круглых и прямоугольных, листовых с большим числом мест изгиба, разделенных прямолинейными или иной формы участками, но и профили со специальными служебными свойствами. В том числе из сталей повышенной и высокой прочности, термоупрочненные, с просечкой и перфорацией, с продольными и поперечными ребрами жесткости, с элементами двойной толщины, сварные, завитые по дуге, покрытые пластиками, антикоррозийными металлическими покрытиями и др.

Профилирование полосы разделяется на ряд отдельных операций, при осуществлении которых каждая из пар валков выполняет оптимальную частичную деформацию.

Выбор числа операций, равных числу валков профилегибочного агрегата, зависит в основном от сложности конфигурации профиля и его размеров, а также от требуемых допусков на размеры, от соотношения толщины и ширины заготовки и отдельных участков профиля, механических свойств материала, требуемых радиусов закругления мест изгиба, допускаемого утонения заготовки и характеристики профилегибочного оборудования.

К достоинствам процесса профилирования можно отнести следующее:

- возможность изготовления профилей минимальной толщины с минимальной металлоемкостью, которую невозможно получить другими способами металлообработки, а также гнутых профилей самой различной конфигурации толщиной 0,1–20 мм и шириной исходной заготовки до 2000 мм;
- получение профиля, позволяющего заменить сочетание нескольких профилей в конструкциях, что дает возможность создавать новые типы конструкций, обеспечивает экономию металла и устраняет операции сборки и соединения отдельных элементов;
- незначительные отходы металла (коэффициент использования металла достигает 99,5–99,8 %);

- приспособляемость к материалам: профилировать можно самые разнообразные материалы: горячекатанную и холоднокатанную листовую, ленточную и полосовую углеродистую сталь, конструкционную и легированную стали, титан, алюминий, медь, цинк, латунь, бронзу и другие металлы и сплавы, допускающие холодную обработку давлением, а также плакированные биметаллические материалы и специальные пластмассы;

- хорошее качество поверхности гнутых профилей проката, что обеспечивает широкое применение их для различных отделочных и декоративных элементов конструкций;

- возможность формообразования профилей из заготовок с предварительно обработанной поверхностью или поверхностью с покрытием без нарушения ее качества;

- высокую точность размеров профилей, обеспечивающую их взаимозаменяемость и возможность соединения профилей между собой и скользящими соединениями сопряженных элементов;

- сравнительно высокую производительность труда;

- высокую степень механизации и автоматизации производства;

- приспособляемость к масштабам производства: оборудование для профилирования менее сложно, более легко и просто в обслуживании и дешевле в изготовлении, чем прокатное и прессовое, в связи с этим высокая производительность профилегибочного оборудования позволяет эффективно устанавливать его не только для массового производства профилей, но и для серийного;

- высокую стойкость инструмента и возможность изготовления на одном комплекте валков большого числа профилиразмеров;

- возможность получения различных и оптимальных механических свойств на различных участках профиля;

- совмещение профилирования с другими производственными процессами, например: с автоматической шовной или точечной сваркой, пайкой, резкой, предварительной надрезкой полос перед профилированием, штамповкой, клеймением, перфорированием, гофрированием, правкой, гибкой по дуге, плакированием, окрашиванием, травлением, термообработкой, лужением, оцинкованием, хромированием и др.

Другие способы получения фасонных профилей (горячая прокатка, штамповка, выдавливание, волочение), несмотря на некоторое сходство с процессом профилирования, принципиально отличаются от него. Так, при профилировании площадь поперечного сечения заготовки практически не изменяется, формируемая заготовка подвержена продольным деформациям и напряжениям, деформация металла начинается значительно раньше, чем участок заготовки войдет в контакт с валками, перемещение заготовки производится тянущими усилиями, прикладываемыми со стороны вращающихся валков, в то время как при прокатке и прессовании площадь поперечного сечения заготовки изменяется, деформирование производится в пределах соприкосновения заготовки с рабочим инструментом, лишь незначительно выходя за пределы очага деформа-

ции; при гибке в штампах заготовка и рабочий инструмент перемещаются поступательно; при волочении заготовка подвержена тянущим усилиям со стороны захватов.

Совершенствование технологии профилирования и применяемого оборудования привело к тому, что гнутые профили проката изготавливают самых разнообразных конфигураций и размеров. Тем не менее, в настоящее время наблюдается тенденция все более интенсивного совершенствования способов формовки валков и оборудования, применяемых для профилирования. Создаются совершенно новые способы профилирования, например, с применением специальных приемов, направленных на повышение пластических свойств металла в процессе профилирования, формообразования отдельных участков профиля за счет местной вытяжки заготовки, увеличение толщины отдельных участков профиля путем создания поперечного сжатия и локального разупрочнения заготовки и др.

В этих условиях особенно актуальной становится задача разработки научных основ построения рациональных технологических процессов, обеспечивающих минимальные трудоемкость и себестоимость изготовления гнутых профилей заданной конфигурации при наилучшем их качестве и минимальном числе технологических переходов.

Список литературы: 1. Тришевский О. И. Профили высокой жесткости с периодически повторяющимися гофрами / О.И. Тришевский, А.Г. Крюк // *Металлургия и коксохимия*, 1981. – Вып. 71. – С. 10-14. 2. Тришевский О.И. Снижение металлоемкости гнутых профилей за счет деформационного упрочнения / О.И. Тришевский, Е.Г. Полстянкин, Р.Ю. Дебердеев / «*Сталь*». – 1988. – №8. – С. 36-37. 3. Производство гнутых профилей (оборудование и технология) / И.С. Тришевский, А.Б. Юрченко, В.С. Марьин и др. – М.: *Металлургия*, 1982.

УДК 621.7.044

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОБЕЗОПАСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ ПОВЫШЕННОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

Савченко Н.Ф., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця)

Третьяк В.В., канд. техн. наук

(Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)

Some features of designing of pulse devices with usage of gas power supplies are esteemed

Важнейшими задачами, стоящими перед промышленностью, являются, с одной стороны, повышение эффективности использования ресурсов, а, другой, уменьшение издержек из-за необходимости их возобновлять. С этой целью, например, в металлообработке, широко используют как комплексные подходы

к разработке технологических процессов. Примером может быть формообразование (предварительное – окончательное) с последующими дополнительными операциями на других рабочих местах, так и специальные методы совершенствования потребительских свойств изделия (структуры, качества поверхностного слоя), обеспечивающие возможность осуществлять комплекс работ непосредственно на одном рабочем месте и при минимальном расходе ресурсов [1-5]. При штамповочных операциях, а также при проведении ремонтно-восстановительных работ, ликвидации аварийных ситуаций при добыче нефти или газа во многих случаях с позиций максимизации эффективности использования ресурсов экономически оправданными будут методы с использованием импульсных энергоносителей.

В то же время безопасность проведения технологических операций с использованием импульсных источников энергии ограничивает область их применения.

Постановка задачи. Исходя из того, что любая технологическая система – это совокупность функционально взаимосвязанных предметов производства, средств технологического оснащения и исполнителей, можно сделать вывод о целесообразности включения в ее состав как дополнительного оснащения специального технологического оборудования с импульсными энергоносителями. При этом необходимо создание элементов минимизации расхода ресурсов и обеспечения безопасности технологического комплекса, достигаемые не только повышением качества проектирования оснастки, но и использованием эластичных рабочих сред (газов, жидкости, эластичных сред или их комбинаций с жесткими недеформируемыми элементами).

Цель исследования. Эволюционное изменение параметров любой технологической системы, например по принципу «жизненного цикла» (рис.1) свидетельствует о необходимости учитывать тенденцию совершенствования параметров технологических систем (ТС). Важнейшими из них могут быть:

интенсивность воздействий на обрабатываемый материал;

длительность воздействия;

возможность групповой обработки;

возможность изменения параметров ТС в самых широких пределах; возможность взаимосогласования в широких пределах параметров изделия и устройства для выполнения различных операций;

возможность минимизации нерационального использования энергоносителей, используемого для выполнения технологических операций (основных и дополнительных).

Представляется целесообразным введение комплексного показателя эффективности использования того или иного метода с позиций повышения конкурентоспособности изделий. В общем виде он может быть представлен как

$$K_{\text{эф}} = \Phi \left(\frac{A_{\text{ПР2}}}{A_{\text{ПР1}}}; \frac{K_{\text{Р2}}}{K_{\text{Р1}}}; \frac{T_{\delta}}{T_{\text{H}}}; \left(\frac{M_{\delta}}{M} \right)_{\delta} \cdot \left(\frac{M}{M_{\delta}} \right)_{\text{H}}; \frac{\Pi_{\delta}}{\Pi_{\text{H}}}; k_{\text{Р}} \right)^{\beta},$$

где A , K , T , M , Π – показатели, характеризующие соответственно количество потребительских свойств, возможность изменения качества (точности, прочностных характеристик), длительность цикла изготовления товарной партии деталей, массовые характеристики изделия как товара, потребности в ресурсах; β – коэффициент, учитывающий эволюционное изменение параметров изделия.

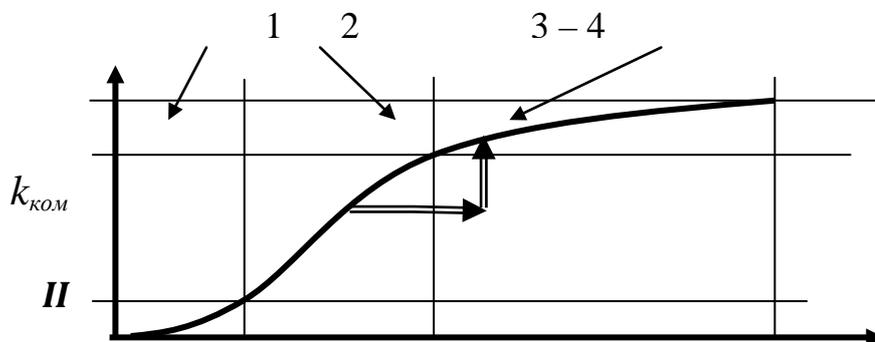


Рис. 1. Эволюционное изменение параметров технологической системы (ТС): 1,2,3,4 – этапы изменения в течение периода времени T эффективности ТС

Методика исследований. Кроме известных преимуществ импульсных устройств – минимальных капиталовложений – и недостатков – повышенных требований к технике безопасности, – необходимо учитывать преобладающую над статическим оборудованием (пресса и другое оборудование или технологические системы) мобильность повышения энергетических характеристик в десятки и тысячи раз. При этом экологически наиболее безопасны технологии с использованием в качестве энергоносителей смесей газов (газообразных и в жидком состоянии) или порошков (горючих и окислителей).

Многообразие вариантов взрывчатого превращения (продукты реакции вода, углекислый газ, сажа, ядовитый газ) свидетельствует о необходимости рассмотрения импульсных устройств как специальных и гибких технологических систем (ГТС). При этом такого типа импульсные устройства, являющиеся мобильными и многофункциональными, можно классифицировать как многофункциональные системы или могущие преобразовываться в них с интеллектуально программируемым комплексом технологических операций. При классификации и проектировании ГТС с использованием импульсных устройств исходят из того, что эти комплексы могут быть не только пассивными системами определенного технологического назначения, но и активными многофункциональными системами, специально оснащенными для адаптации к изменению ситуации в технологической зоне энергоаккумулирующими устройствами.

Общим с позиции построения различных типов ГТС можно считать наличие универсальных рабочего органа (или нескольких), привода и специального типа устройств управления работой рабочего органа для выполнения при необходимости нескольких различных технологических операций. Эффективность использования ГТС существенно может быть увеличена благодаря их адапта-

ции к меняющимся условиям технологической среды, что обеспечивается управляющими системами с использованием специальных датчиков. Существенно и то, что важным преимуществом ГТС может также считаться и возможность встраивания в существующие технологические комплексы без ухудшения их функционирования. Именно эти признаки и позволяют классифицировать предлагаемые устройства как гибкие технологические системы.

Проведенный анализ существующих методов комплексного воздействия на заготовку – деталь показывает несомненные преимущества с позиций энергоресурсосбережения и качества изготовления изделий импульсных методов. Так, импульсные методы, как пример расширения потребительских свойств, позволяют в десятки раз увеличить при необходимости габариты изделий и повысить их герметичность, повысить в 1,5...3 раза прочность изделий и ресурс.

Поэтому рациональным представляется использование высокоэнергетических веществ в качестве энергоносителей, среди которых особое место можно выделить ацетилену и газам – его заменителям. По энергетической характеристике ацетилен находится между топливо-кислородными и топливо-воздушными газовыми смесями, при сгорании которых выделяется примерно 71-90 и 20-25 ккал/моль соответственно. Ацетилен более богат энергией, чем такая известная взрывчатая газовая смесь, как водород с кислородом ($Q = 45,5$ ккал/моль). Количество тепла, выделяемое при разложении 1 кг ацетилена, примерно в 2 раза больше, чем при взрыве такого же количества твердого ВВ тротила. Как импульсные энергоносители перспективны не только газообразный ацетилен и его смеси с инертными газами, но и ацетилен в твердом, жидком состоянии и некоторые его соединения с металлами (ацетилениды).

В настоящее время проводятся проектно-экспериментальные работы по исследованию малогабаритных импульсных устройств для использования их в различных отраслях народного хозяйства.

Примером эффективного применения импульсных устройств как ГТС может считаться использование импульсных методов с газовым энергоносителем при металлообработке для формообразования и одновременного изменения определенных свойств изделия (структуры, термообработки локальных участков или нанесения покрытий). Этим достигается повышение износостойкости и ресурса изделий, защита от коррозии и воздействия высоких температур деталей машин при эксплуатации, восстановлении изношенных деталей и др. Исходя из этого, целесообразно считать перспективным дальнейшее совершенствование импульсных технологий.

Список литературы: 1. Пихтовников Р.В. Перспективы развития листовой штамповки взрывом / Р.В. Пихтовников, В.К. Борисевич // Импульсная обработка металлов давлением: сб. статей под ред. В.К. Борисевича. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 4–7. 2. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов / М.Н. Горбунов. – М.: Машиностроение, 1970. – 230 с. 3. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций / В.Г. Степанов, П.М. Сипилин и др. – Л.: Судостроение, 1966. – 292 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ ВАЛКІВ З МЕТАЛОМ І НАВКОЛИШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Тришевський О.І., докт. техн. наук, **Салтавець М.В.**, **Бондаренко С.М.**
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка)

The results of theoretical investigations of the thermal state of the rolls for hot-rollers on the example sheet finishing mill stand 2250 Alchevsk Steel plant. Recommendations for the use of effective schemes of cooling rolls

Вступ. При великій різноманітності конструктивних схем як сучасних ливарно-прокатних агрегатів, так і звичайних станів гарячої прокатки в технологічному циклі прокатки існує ряд характерних ділянок, на яких відбуваються істотні теплообмінні процеси в системі навколишнє середовище-смуга-валок [1,2]. З цих ділянок найбільш важливими та такими, що надають істотний вплив як на якість смуги, що прокочується, так і на енергетичні, а, відповідно, і на економічні показники процесу прокатки, є ділянки осередку деформації, де відбувається безпосередній контакт смуги, що прокочується, з валками.

Мета досліджень. З урахуванням зазначеного метою даного дослідження є теоретичне визначення на основі раніше розроблених моделей теплового стану валків листових станів гарячої прокатки при різних існуючих і пропонованих перспективних схемах їх охолодження а також виявлення найбільш ефективного для стабілізації теплового стану металу по перетину валків способу подачі охолоджуючої води.

Матеріали досліджень. Відомо, що тепловий стан валків залежить від обраних схем їх охолодження. На рис. 1 наведені існуючі схеми охолодження робочих валків листових станів. При двосторонньої схемі подачі води на валок (рис. 1,б) між двома зонами примусового охолодження існує ще одна проміжна зона вирівнювання температури. Необхідно відзначити, що вода, яка потрапляє від валків на поверхню листа при двосторонньої схемі подачі води, охолоджує поверхню смуги перед входом в зону деформації і на виході із зони деформації. Падіння температури поверхні смуги перед входом в зону деформації під впливом охолоджуючої валок води, становить від 2 до 10°C в залежності від товщини окалини, що екранує смугу від охолодження. Крім того, коефіцієнт тепловіддачі до води, що знаходиться на паровій подушці, незначний [3]. До того ж, час контакту води з металом, внаслідок високої швидкості прокатки, також незначний. Вода, що потрапляє на поверхню листа після виходу смуги із зони деформації, також знаходиться на паровій подушці. Безпосередній контакт між водою та металом – відсутній. Теплообмін на цій ділянці здійснюється через прошарок пара. З урахуванням існуючої інформації [4], розроблені перспективна і економічна схеми подачі води (рис. 2).

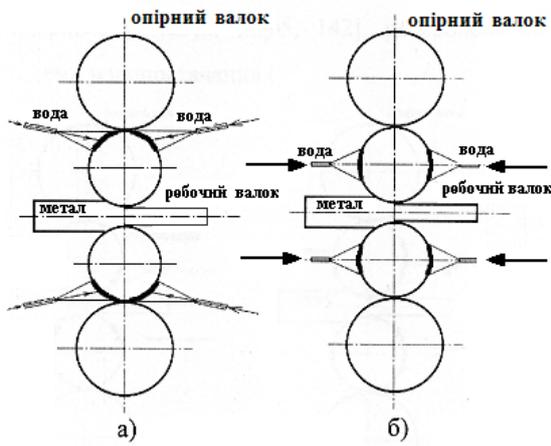


Рис. 1. Існуючі схеми охолодження робочих валків листових станів гарячої прокатки: а – з подачею води з боку, протилежного зоні деформації; б – з подачею води з двох сторін (двостороння).

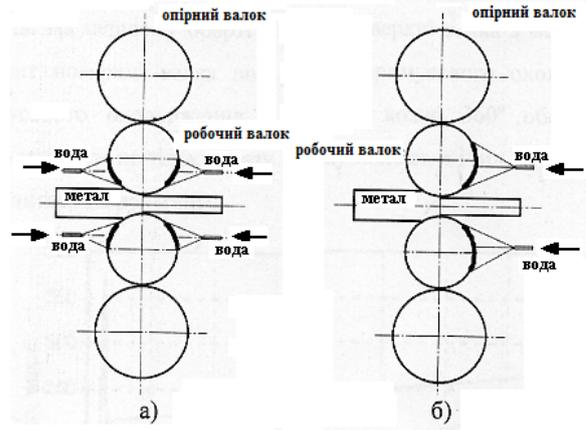


Рис.2. Розроблені схеми охолодження робочих валків:
а – перспективна;
б – економічна.

Перспективна схема (рис. 2,а) розроблена для листових станів і відрізняється тим, що сектор подачі води зміщений в зону деформації смуги. Передбачається застосування перспективної схеми охолодження валків листових станів у клітках реверсивного типу. Економічна схема охолодження робочих валків (рис. 2,б), розроблена для застосування в безперервних групах листових станів і відрізняється від перспективної місцеположенням пристроїв подачі води. Вона може бути використана, на реверсивних клітках, якщо буде можливість здійснювати реверс подачі води на охолодження одночасно з реверсом валків.

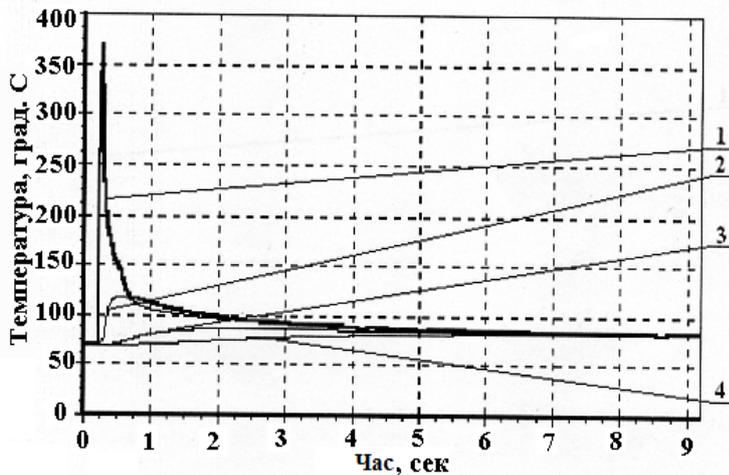


Рис. 3. Температурне поле валка за один цикл:
1 – поверхня; 2 – відстань від поверхні 1,8 мм;
3 – відстань від поверхні 2,2 мм; 4 – відстань від поверхні 3,8 мм

На основі раніше розроблених математичних моделей теплового стану виконані обчислення теплового стану валків при різних умовах охолодження. Довжина зон примусового охолодження для перших трьох схем – однакова. Довжина зони примусового охолодження при економічній схемі подачі води на валки зменшена на 25%. При обчисленнях зниженням температури поверхні валка за рахунок теплообміну з повітрям – нехтували, так як коефіцієнт тепловіддачі в

повітря дуже низький і становить всего 10–15 Вт/(м² ×град).

На рис. 3 представлені результати обчислення теплового стану валка за один цикл (а не за один оборот) при традиційній (рис. 1,а) схемі подачі води. Всі дослідження виконані для випадку прокатки заготовки листа 5x2000x11000 зі сталі Ст.3 в чистовій клітці стана 2250 Алчевського металургійного комбінату, оскільки на цьому стані з метою з'ясування причин поломок валків був виконаний комплекс досліджень і отримано великий обсяг експериментальних даних [5]. За один цикл прокатки на реверсивному стані валок встигає зробити кілька оборотів. На першому обороті відбувається контакт по-верхні валка з металом. Після цього елемент поверхні валка потрапляє в зону примусового охолодження. Початок примусового охолодження здійснюється кожні 360° оборотів валка. Валок охолоджується не тільки відразу після проходження смуги, але і під час циклу, коли смуга знаходиться на рольгангу.

Математична модель [2] дозволяє обчислювати температуру по глибині валка з кроком через кожні 0,001 мм і менше. Але при цьому залежності, що описують тепловий стан внутрішніх шарів валка, при графічному відображенні будуть зливатися. Тому для зручності зображення температурного поля валка обрані: поверхня, і шари, що знаходяться від неї на відстані 1,8 мм, 2,2 мм і 3,8 мм відповідно. У разі подачі води з боку протилежної зоні деформації (рис.1,а) зона охолодження практично одна (струменя води подаються на поверхню валка з двох сторін практично до лінії контакту з опорним валком). При цьому чергування зон теплообміну за один оборот наступне: – теплообмін з навколишнім середовищем; – зона примусового охолодження; – теплообмін з навколишнім середовищем.

Результати розрахунку теплового стану валка при двосторонній подачі води (рис.1,б) дають аналогічні наведеним на рис. 3 для традиційної схеми охолодження результати. При використанні схеми охолодження з двох сторін, зони теплообміну поверхні валка чергуються в такій послідовності: – теплообмін з навколишнім середовищем; – зона примусового охолодження; – теплообмін з навколишнім середовищем; – зона примусового охолодження; – теплообмін з навколишнім середовищем.

Результати математичного моделювання теплового стану валка при подачі води з боку протилежної зоні деформації і двосторонньої подачі води на валок (рис. 3) показують, що в обох випадках відсутня стабілізація теплового стану валка – його температура росте на 11–12 °С за один цикл.

Результати обчислення теплового стану валка при перспективній схемі подачі води представлені на рис. 4. При використанні перспективної схеми подачі води на валок зростання температури за один цикл зменшується вдвічі і становить 5–6 °С. При цьому було прийнято, що інтенсивність охолодження при всіх трьох розглянутих вище схемах – однакова. Найбільший інтерес представляють результати математичного моделювання теплового стану валка при економічному способі подачі води на валок (рис. 5).

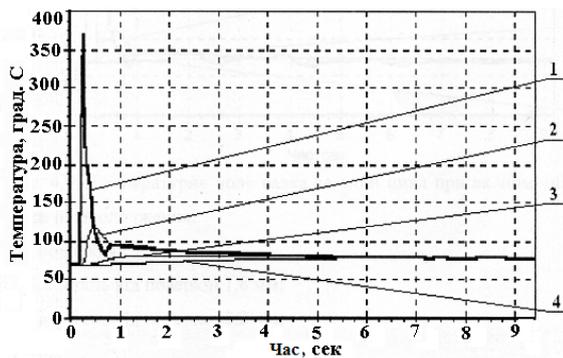


Рис. 4. Температурне поле валка за один цикл при перспективній схемі подачі води на охолодження: 1 – поверхня; 2 – відстань від поверхні 1,8 мм; 3 – відстань від поверхні 2,2 мм; 4 – відстань від поверхні 3,8 мм

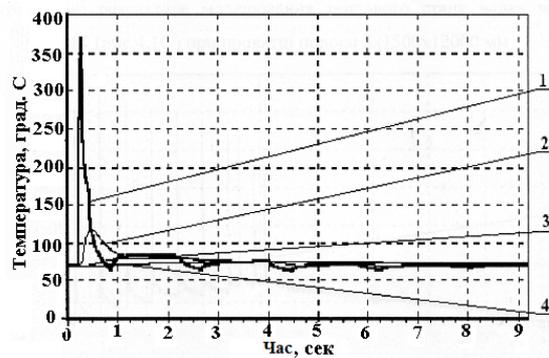


Рис. 5. Теплове поле валка за один цикл при економічній схемі подачі води для охолодження: 1 – поверхня; 2 – відстань від поверхні 1,8 мм; 3 – відстань від поверхні 2,2 мм; 4 – відстань від поверхні 3,8 мм

Істотна відмінність економічного способу подачі води в тому, що стабілізація температурного поля валка забезпечується при зменшенні на 25% (рис. 2,б) довжини зони примусового охолодження. Завдяки цьому, з'являється можливість зменшити кількість води на охолодження.

Стійкість валків за рахунок стабілізації теплового стану за даними Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча підвищується на 10%. Фактичну кількість води, необхідної для забезпечення стабілізації температурного поля валка і її кількість, що економиться, можна буде встановити після проведення експериментальних досліджень процесу охолодження. Найістотнішим при розробці систем охолодження прокатних валків є те, що запропоновані схеми (перспективна і економічна) використовуються при проектуванні швидкісних безперервних станів гарячої прокатки п'ятого покоління. Тепловий стан валка може бути однозначно встановлений, якщо достовірно відома температура смуги, яка контактує з валками.

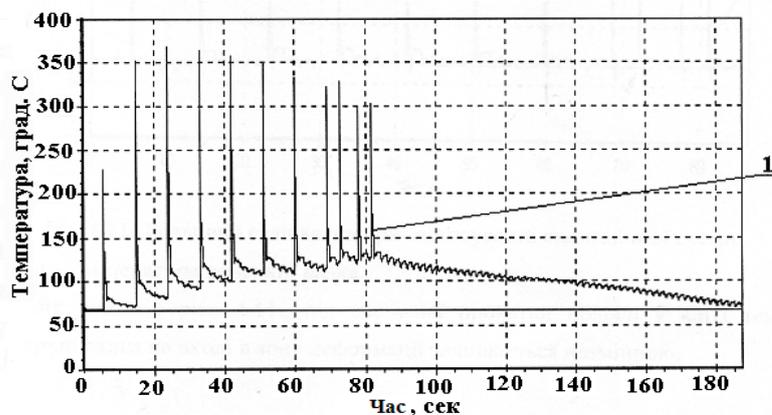


Рис. 6. Теплове поле валка чорнової кліти стана 2250 АМК:
1 – температура поверхні валка

Розглянемо результати моделювання теплового стану валка чорнової кліти стана 2250 Алчевського металургійного комбінату (рис. 6) при прокатці смуги 8x1500x12000 мм де існуюча система охолодження валка (з подачею води з боку протилежної зони деформації (рис.1,а) не забезпечує стабілізації його температурного поля на протязі прокатки одного сляба (80 с). Внаслідок цього після закінчення прокатки сляба в цій кліті необхідно мати час для охолодження валка до постійної температури 70 °С (протягом ще 100 с).

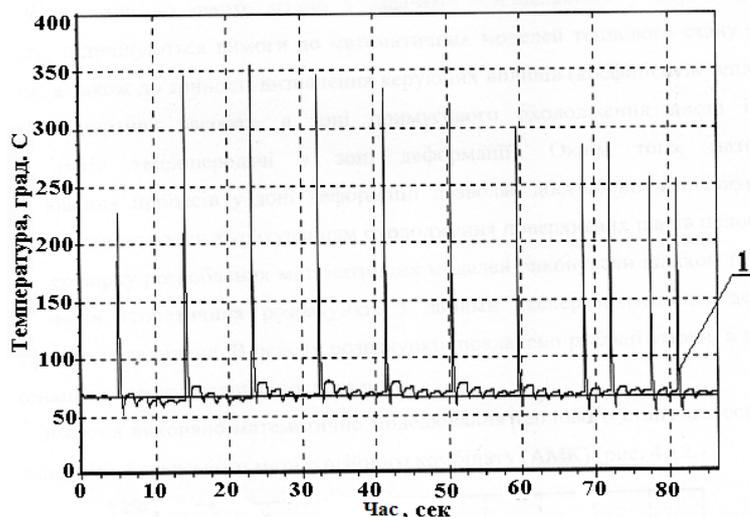


Рис. 7. Теплове поле валка при використанні економічної схеми:
1 – температура поверхні валка

Використання розробленої економічною схемою подачі води (за умови можливості реверсу її подачі) дозволяє стабілізувати тепловий стан валка протягом прокатки одного сляба – 80 с. За час всієї прокатки смуги в кліті температура поверхні валка на вході в зону деформації залишається незмінною (рис. 7).

Висновки. 1. На основі математичного моделювання процесів теплообміну валків з металом і навколишнім середовищем досліджені різні схеми їх охолодження. Встановлено, що існуючі схеми охолодження валків не забезпечують стабілізації їх теплового стану протягом одного циклу. 2. Запропоновані схеми охолодження валків, які можуть забезпечити стабілізацію теплового стану валків у реверсивних клітках і в неперервних групах клітей – перспективну і економічну. Завдяки цьому час прокатки сляба скорочується з 180 с до 80 с.

Список літератури. 1. Тришевский О.И. В. Разработка математической модели теплового состояния полосы при прокатке / О.И. Тришевский, Н.В. Салтавец // «Сталь», 2009. – № 2. – С. 42-46. 2. Тришевский О.И. Разработка математической модели теплового состояния валков при прокатке / О.И. Тришевский, Н.В. Салтавец // «Сталь», 2011. – № 12. – С. 22-26. 3. Крейд Ф. Основы теплопередачи. Пер. с англ. / Ф. Крейд, У. Блэк. – М.: Мир, 1983. – 512 с. 4. Stevens P. G., Ivens K. P., Harper P. Increasing work-roll by improved roll-cooling practice // Journal of the Iron Steel Institute. – 1971. – №1. – P. 3-13. 5. Экспериментальное исследование усилий прокатки в чистой клетке стана 2250. Комитет промышленной политики Украины. ОАО Алчевский металлургический комбинат, ЧК НКП «Аверс», УкрНИИМет. – Харьков, 2000. – 39 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ

Забара А.С., Плеснецов Ю.А., канд. техн. наук
(Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков)

The work carried out modeling of workpiece sedimentation using finite element method. Obtained surface deformations were compared with experimental studies. The conclusion about the feasibility of modeling the process of settling the workpiece using finite element method

Введение. В условиях создания в Украине основ рыночной экономики, возникновения и обострения конкурентных отношений, проблема материалоемкости промышленной продукции и выведения ее по этому показателю на уровень, достигнутый в промышленно развитых странах, становится первоочередной. Один из эффективных путей экономии металла – увеличение производства и поиск новых областей применения гнутых профилей. Гнутые профили проката – высокоэкономичный вид металлопродукции, изготавливаемой методом непрерывного профилирования листового материала на профилегибочных агрегатах различного типа. Вопросом разработки сортамента специальных гнутых профилей замкнутого сечения (СГПЗС) и освоение их производства в Украине уделяется значительное внимание в связи с эффективностью их применения. Наибольшее количество разработок в этом направлении выполнено в Украинском научно-исследовательском институте металлов (УкрНИИМете). В то же время, выполненный в УкрНИИМете комплекс работ направлен на реализацию технологий производства СГПЗС из заготовки 3 мм и более.

Анализ последних исследований и литературы. В последние годы в обрабатывающей промышленности сохраняется устойчивая тенденция к автоматизации производственных процессов, требующей автоматизированного разветвленного складского хозяйства на основе стеллажных конструкций [1].

Высокоэкономичные гнутые профили находят все более широкое применение в складском хозяйстве, благодаря чему, не только обеспечивается экономия металла, но и значительно снижается трудоемкость изготовления, а также облегчается унификация узлов и элементов. Одним из основных элементов стеллажных конструкций является траверса (рис. 1).

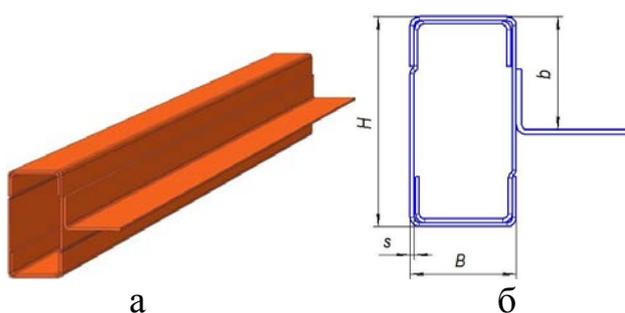


Рис. 1. Профиль траверсы:
а – общий вид; б – сечение

В настоящее время в Украине траверсу изготавливают из двух с-образных профилей и уголка, для получения которой требуются их формовка и последующая сварка. Снижение трудоемкости изготовления, а также соответствие по-

вышенным требованиям к экспортному исполнению стеллажных конструкций (технологичность сборки, надежность в эксплуатации, товарный вид) может быть обеспечено при замене сварных с-образных профилей с уголком специальным гнутым профилем замкнутого сечения (рис. 2). Существенным ограничением в применении таких СГПЗС является отсутствие технологий их производства, что связано в первую очередь с мелкосерийным характером производства СГПЗС и большими капитальными затратами на разработку технологии и оборудования, а также на изготовление последнего. Окупаемость капитальных затрат может быть достигнута при создании технологии, позволяющей изготавливать

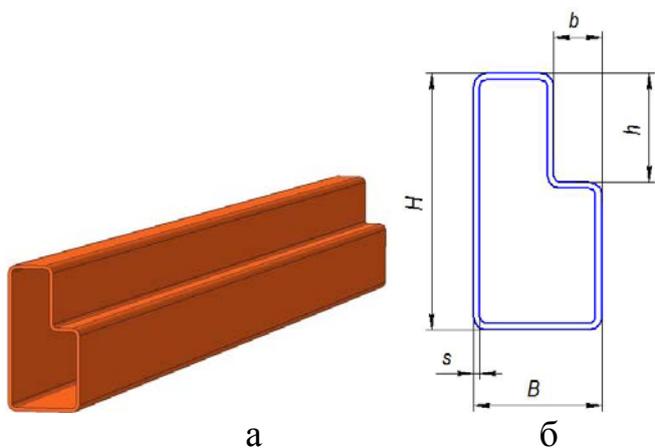


Рис. 2. СГПЗС: а – общий вид; б – сечение

СГПЗС на существующем оборудовании предприятия-изготовителя. В Украине производство СГПЗС развито недостаточно, в литературе отсутствуют данные, позволяющие разработать технологию их производства, имеет место значительное количество импортной продукции, в связи с чем работы, направленные на создание научных и технологических основ их производства, являются важными.

Цель работы – разработка научно обоснованной модели валковой формовки профильных труб. В соответствии с поставленной целью в работе выполнены исследования деформированного состояния металла при осадке круглой трубной исходной заготовки.

Материалы исследований. Особенностью СГПЗС является расположение прямоугольного продольного желоба по сечению. Разработана технология изготовления этих профилей из стали 08 кп (ГОСТ 1050).

Общей схемой технологического процесса выбрана предварительная формовка круглой трубной заготовки с продольной сваркой кромок в потоке и последующая ее переформовка в прямоугольный профиль с желобом.

Переформовка круглого сечения в овальное обеспечивает первое приближение конфигурации трубной заготовки к форме профиля (рис. 3) [2]. В следующих по схеме формующих клетях поперечное сечение постепенно приближается к конечной форме при заданных размерах. Окончательная правка и калибровка профилей выполняется в последних двух технологических переходах.

Расчету калибровки валков предшествовал расчет ширины заготовки, проводимый в два этапа: 1) определение периметра профилей и соответствующего ему диаметра трубной заготовки; 2) расчет ширины полосовой заготовки с учетом припуска на оплавление кромок. Периметр сечений профилей определялся как сумма длин их прямолинейных и криволинейных элементов (по средней линии), согласно рис. 2. Для профиля размерами $H=60$ мм, $B=40$ мм, $b=15$ мм,

$h=34$ мм периметр равен 194,64 мм. Указанным размерам соответствует развертка (по средней линии) трубы диаметром 62 мм, имеющая ширину 188,5, при этом длина по наружному периметру составляет 194,77 мм.

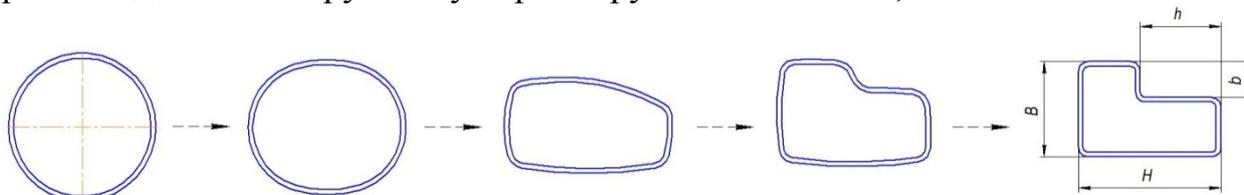


Рис. 3. Схема формовки СГПЗС

Конструкция СГПЗС содержит проблемные участки для формовки: желоб, угловые зоны. Формовка желоба представляют существенные трудности в части обеспечения размерной точности элементов и минимизации утонения. Утонение по условиям технического задания не должно превышать 0,1 мм. Такое требование связано с эксплуатационной нагрузкой профиля в стеллажной конструкции. В этой связи был выполнен комплекс теоретических исследований процесса формообразования упомянутого профиля.

Типоразмер профиля и параметры осадки во многом определяют возможность появления того или иного рода дефектов (потеря устойчивости полок, утонение угловых зон и др.) [3]. Зависимость появления этих дефектов от параметров оборудования, числа переходов, конфигурации калибров роликов и настроечных параметров технологического процесса предполагает построение математических моделей с целью оптимизации процесса профилирования. Применение математического моделирования процесса формообразования профиля позволяет сократить затраты на создание технологии.

Величина осадки задается шириной заготовки и конструкцией формирующих роликов. Поэтому создание модели, позволяющей прогнозировать геометрию зоны изгиба, является весьма важной задачей для технологии в части назначения параметров заготовки и роликового калибра. Разработка аналитических моделей процесса осадки осложняется тем, что необходимо решать задачу теории пластического течения с учетом перемещений материальных частиц при неопределенности задания условий на границе раздела прямолинейного и радиусного участков заготовки. Кроме того, при высвобождении угловых зон роликового калибра заранее невозможно прогнозировать кривизну свободных от нагрузки контуров зоны изгиба заготовки, в связи с чем, использование моделирования процесса осадки заготовки с помощью метода конечных элементов, безусловно, целесообразно. С этой целью в работе использовали программные продукты, как DEFORM 3D v 10.2 и «Компас v 13». Программа «Компас v 13» использована в качестве препроцессора, обработка результатов произведена встроенными средствами программы DEFORM. Моделирование процесса осадки профиля проводили на стали 08кп толщиной 2,0 мм. Для характерных шагов изучали напряженно-деформированное состояние в угловой зоне. На рис. 4 представлены результаты для промежуточного шага нагружения.

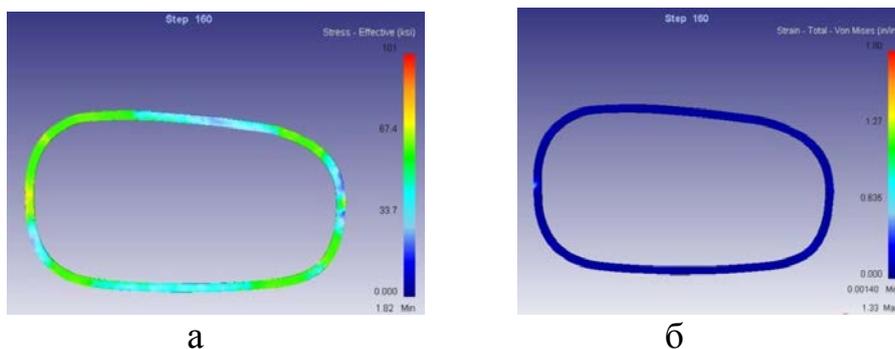


Рис. 4. Модель 160-го шага нагружения: а – напряжение; б – деформация

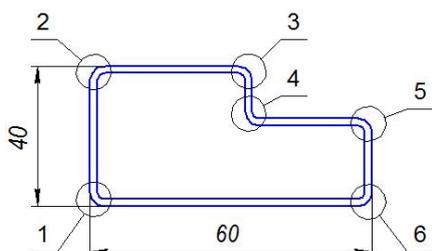


Рис. 5. Схема угловых зон профиля

Схема угловых зон профиля представлена на рис. 5. Результаты моделирования, отражающие распределение суммарных деформаций в поверхностных слоях по всем технологическим переходам, представлены на рис. 6. Результаты, полученные моделированием, сопоставлены с результатами ранее выполненных с использованием метода сеток исследований [4]. Результаты представлены в таблице. Полученные расхождения не

превышают 12%, что позволяет рекомендовать моделирование в среде DEFORM для дальнейших исследований сложных технологических процессов профилирования.

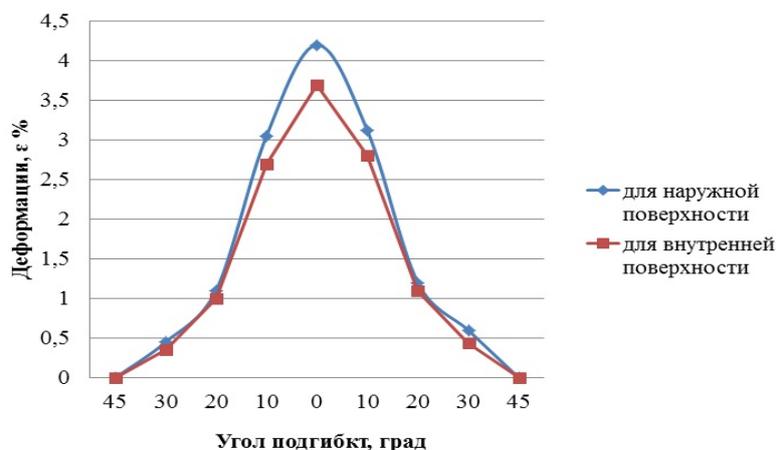


Рис. 6. Суммарная деформация в поверхностных слоях по всем переходам

Таблица

Сравнительный анализ поверхностных деформаций

Угол подгибки	Поверхностные деформации на наружной поверхности, %	
	расчетные	экспериментальные
0 ⁰	4,23	3,78
10 ⁰	3,12	2,84
20 ⁰	1,13	1,02
30 ⁰	0,67	0,55
45 ⁰	0	0

Выводы. СГПЗС широко применяются в области складского и производственного оборудования. В Украине отсутствует технология производства СГПЗС методом переформовки круглой трубной заготовки в прямоугольный профиль с желобом. Параметры деформированного состояния металла при формовке СГПЗС осадкой определяли с помощью метода конечных элементов. Полученные поверхностные деформации при формовке профилей с осадкой сопоставили с полученными экспериментальными данными. Расхождения значений деформаций не превышают 12%. Установлено, что использование моделирования процесса осадки заготовки с помощью метода конечных элементов целесообразно при разработке сложных технологических процессов.

Список литературы. 1. www.ipris-profil.com. 2. Аналіз сучасного стану виробництва гнутих профілів замкнутого перетину / Ю.О. Плеснецов, О.С. Забара, Т.Л. Коворотний та ін. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков, 2010. – Вып. №43. – С. 146-157. 3. Исследование процесса формообразования замкнутых и полузамкнутых профилей / М.Е. Докторов, В.Л. Ахлестин, Є.В. Кузьмис и др. // Разработка и исследование технологии производства гнутых профилей проката: отрасл. сб. научн. тр. – Харьков: УкрНИИМет, 1984. – С. 28–34. 4. Технология изготовления замкнутых сварных профилей сложной конфигурации / И.Е. Пацека, Е.Н. Горбач, С.И. Самарин и др. // Разработка и исследование технологии производства гнутых профилей проката: отрасл. сб. научн. тр. – Харьков: УкрНИИМет, 1986. – С. 35–40.

УДК 621.822

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМ И РАЗМЕРОВ ОПОРНЫХ СЕГМЕНТОВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ НА ДАВЛЕНИЕ НА ВХОДНЫХ УЧАСТКАХ

Тищенко Л.Н., докт. техн. наук, **Свиргун О.А.,** канд. техн. наук,
Свиргун В.П., канд. техн. наук
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)

The article examines the impact of the size of the input radius of the segment bearing rubber bearings on the pressure

Введение. Применение маловязких жидкостей для смазки и охлаждения подшипников скольжения порождает комплекс задач, связанных с обеспечением работоспособности, надежности всех элементов механической системы. Необходимость выбора оптимальных параметров конструктивных элементов системы требует уточненных методов их расчета.

Проектирование резинометаллических подшипников в основном основано на опыте эксплуатации аналогичных машин и ограничением допускаемых удельных давлений и скоростей [1, 2].

Гидродинамическое давление, возникающее при движении смазывающей жидкости вместе с одной из поверхностей конфузорного зазора, определяется

размерами опорной поверхности, скоростью движения, динамической вязкостью смазывающего материала и размерами смазочного слоя.

Целью работы является исследование влияния формы и размеров входного участка опорного сегмента подшипника на гидродинамическое давление.

Модель работы резинометаллического подшипника, описывающая форму рабочей поверхности в виде входной, опорной и запорной частей [3], схематически может быть представлена в виде трехклиновой поверхности (рис. 1) или двухклиновой с входной частью в виде радиуса (рис. 2). Реальная форма входной части определяется поверхностью, находящейся между плоскостью и цилиндром. С увеличением деформаций эта поверхность будет приближаться к плоской поверхности с уменьшающейся клиновидностью.

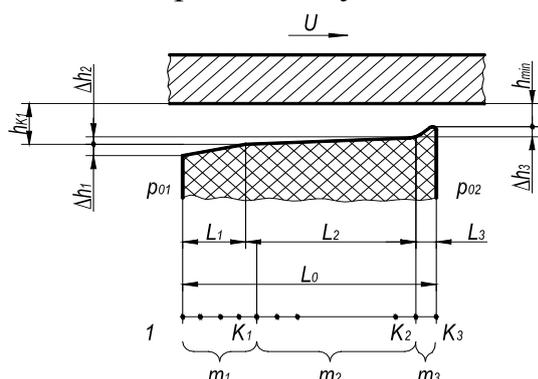


Рис. 1. Схема трехклиновой поверхности

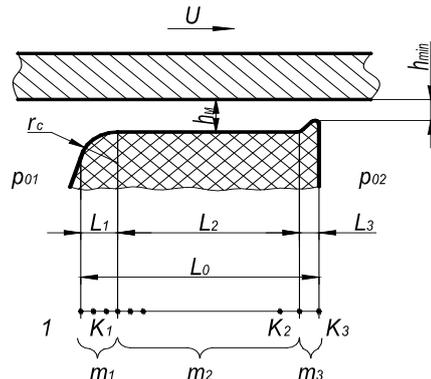


Рис. 2. Схема опорной поверхности с входным радиусом

Размеры смазочного зазора для каждого из участков трехклиновой поверхности определяются по формулам:

$$h_{1i} = h_{\min} + \Delta h_3 + \Delta h_2 + \Delta h_1 \left(1 - \frac{i-1}{m_1} \right); \quad (1)$$

$$h_{2i} = h_{\min} + \Delta h_3 + \Delta h_2 \left(1 - \frac{i-k_1}{m_2} \right); \quad (2)$$

$$h_{3i} = h_{\min} + \Delta h_3 \left(1 - \frac{i-k_2}{m_3} \right), \quad (3)$$

где h_{\min} — минимальная толщина смазочной пленки; Δh_1 , Δh_2 , Δh_3 — высоты подъема кромок входного, среднего и выходного участков; m_1 , m_2 , m_3 — число отрезков, на которые разбиты соответствующие участки; i — номер рассматриваемого узла; $k_1 = m_1 + 1$, $k_2 = k_1 + m_2$, $k_3 = k_2 + m_3$ — номера узлов перегиба.

Если входная часть будет задана в виде радиуса, то толщина смазочной пленки на этом участке будет равна

$$h_{1i} = \sqrt{(r_c + h_{k_1})^2 + [L_1 - (i-1)\Delta_x]^2} - r_c, \quad (4)$$

где $h_{k_1} = h_{\min} + \Delta h_3 + \Delta h_2$ – суммарная высота подъема; $\Delta x = L_1/m_1$ – шаг деления по оси x ; L_1 – длина входного участка.

В рассматриваемых конструкциях входной и выходной участки рабочей поверхности подшипника образуются в результате упругих деформаций, а их размеры значительно меньше размеров основной несущей площадки 2.

Гидродинамика входной части, которая образуется криволинейной поверхностью, находящейся между плоскостью и цилиндром, определяется эксплуатационными параметрами: давлением на входе в водоподводящем канале и давлением в переломной точке K_1 , равном давлению на эквидистантной поверхности. Давление на основной несущей площадке определяется общей нагрузкой, скоростью подвижной поверхности и динамической вязкостью воды. Толщина водяной пленки h_{K_1} (рис. 1), устанавливающаяся в конце входной части, зависит также от ее формы и размеров.

Оценку возможностей входной части опорной поверхности можно осуществить, сравнивая результаты расчетов при постоянной толщине h_m (рис. 1) по получающемуся давлению p_2 на участке с постоянным зазором. Для получения результатов в общем виде целесообразно выполнять расчеты, введя безразмерный параметр давления \bar{p} в виде:

$$\bar{p}_i = p_i \frac{h_m^2}{\mu_t U L_1}. \quad (5)$$

Безразмерный параметр толщины смазочного слоя h в зоне постоянного давления $K_1 < i < K_3$ представим в виде:

$$\bar{h}_m = \sqrt{\bar{p}_u}. \quad (6)$$

В этом случае постоянный зазор на основном участке рабочей поверхности будет определяться по формуле:

$$h_m = \bar{h}_m \sqrt{\frac{\mu_t U L_1}{P_u}}. \quad (7)$$

Относительную толщину смазочного слоя можно представить в виде

$$\xi_i = \frac{h_i}{h_m}. \quad (8)$$

Безразмерные графики давлений для различных размеров заходных участков L_1 приведены на рис. 3. На рис. 4 показаны безразмерные графики давлений 1-4 для подшипников с входными радиусами от 20 до 500 мм на базовом участке 2,5 мм.

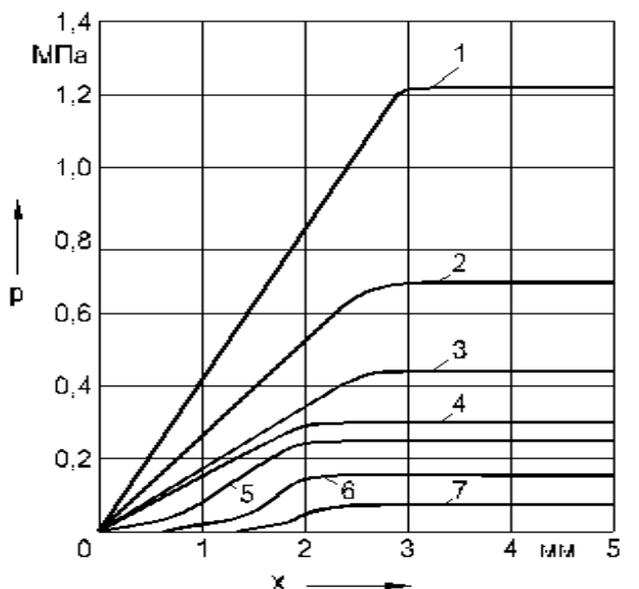


Рис. 3. Распределение давления на входном участке подшипника:

1 – $h_m = 3$ мкм; 2 – $h_m = 4$ мкм;

3 – $h_m = 5$ мкм; 4 – $r_c = 500$ мм;

5 – $r_c = 150$ мм, 6 – $r_c = 50$ мм; 7 – $r_c = 10$ мм

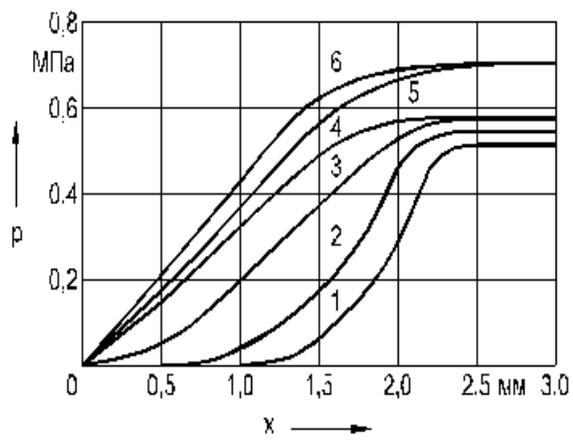


Рис. 4. Распределение безразмерных давлений на входных участках подшипников: 1 – $r_c = 20$ мм; 2 – $r_c = 50$ мм; 3 – $r_c = 150$ мм; 4 – $r_c = 500$ мм; 5 – $L_1 = 3$ мм; 6 – $L_1 = 2$ мм

Выводы. Расчеты давлений, полученных при различных радиусах r_c , показывают (рис. 3), что гидродинамический эффект начинает проявляться при $\xi_i = 6 \dots 7$. Фактическая площадка L'_1 , на которой развивается гидродинамическое давление, будет сокращаться с уменьшением радиуса r_c . При больших радиусах r_c работает практически вся входная часть и давление приближается к величинам, определяемым плоским скосом.

Значения безразмерных коэффициентов давления нарастают с различной интенсивностью, но становятся одинаковыми при постоянных соотношениях толщин смазочных пленок в начале и конце конфузорного зазора (рис. 4).

Список літератури: 1. ОСТ 108.129.14-81. Подшипники, направляющие на водяной смазке для вертикальных гидравлических турбин. Конструкции, размеры и технические требования. – Л.: РИО НПО ЦКТИ, 1981. – 4 с. 2. ГОСТ 7199-77. Подшипники резинометаллические судовые: технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с. 3. Свиргун О.А. Методика расчета оптимальных форм рабочих поверхностей резиновых подшипников скольжения, смазываемых водой / О.А. Свиргун // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 24. – С. 41–45.

УДК 534.1:539.3

ПРО ФРИКЦІЙНІ АВТОКОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА СПРОЩЕНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРТЯ

Ольшанський В.П., докт. фіз.-мат. наук, Ольшанський С.В., канд. фіз.-мат. наук
(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка)

Formulas for calculating the parameters self-oscillations of a mechanical system were established caused by the difference of the coefficient of static friction and friction movement, considering the viscous resistance of the medium

Вступ. При роботі сільськогосподарських машин, а також машин іншого призначення нерідко спостерігаються автоколивання окремих їх частин. Тому приділялась і продовжує приділятися належна увага математичному моделюванню цього виду руху. Так в [1] розглядали автоколивання лапи культиватора. В [2] моделювали автоколивання скребкового механізму конвеєра, причому в основу роботи поклали теорію, яка ґрунтовно висвітлена в [3], [4]. В [5] запро-

поновано спрощений варіант розрахунку параметрів автоколивань скребкового конвеєра. На відміну від [2] і [5], тут в математичній моделі автоколивань, окрім дії сили сухого тертя, враховано дію сили в'язкого опору середовища.

Метою роботи є одержання та апробація формул для розрахунку автоколивань механічної системи з одним ступенем вільності, спричинених різницею значень коефіцієнта тертя спокою та ковзання. Дослідження ґрунтуються на аналітичних розв'язках рівняння руху та зводяться до пошуку коренів трансцендентного рівняння.

Основна частина роботи. Автоколивання механічної системи за спрощеної характеристики тертя описуємо диференціальним рівнянням:

$$\ddot{x} + 2\mu\dot{x} + p^2x = p^2v_0t + g(f_1 - f_2). \quad (1)$$

Тут $\mu = \frac{k}{2m}$; $p^2 = \frac{c}{m}$; m – рухома частина маси системи; c – коефіцієнт жорсткості тягового органу; v_0 – стала швидкість руху кінця тягового органу, що показано на рис. 1; k – коефіцієнт в'язкого опору середовища; g – прискорення вільного падіння; f_1, f_2 – відповідно коефіцієнти сухого тертя спокою та ковзання; $x = x(t)$ – переміщення рухомої частини маси у часі t ; крапка над x означає похідну по t .

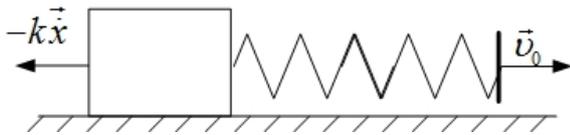


Рис. 1. Розрахункова схема

При $k = 0$ рівняння (1) переходить у рівняння, яке використовували для теоретичних розрахунків в [2], [3], [4]. Там же викладена методика складання рівняння автоколивань.

Загальний розв'язок рівняння (1) має вигляд:

$$x(t) = e^{-\mu t} (a_1 \cos \omega t + a_2 \sin \omega t) + v_0 t + \frac{1}{c} (mg \Delta f - kv_0). \quad (2)$$

Тут $\omega = \sqrt{p^2 - \mu^2}$; $\Delta f = f_1 - f_2$; a_1, a_2 – довільні сталі.

Без урахування в'язкого опору, коли $k = \mu = 0$, розв'язок (2) стає таким, як у роботах [2], [3]. У відповідності з (2) рух системи проходить зі швидкістю

$$\dot{x}(t) = v_0 - e^{-\mu t} [(\mu a_1 - \omega a_2) \cos \omega t + (\mu a_2 + \omega a_1) \sin \omega t]. \quad (3)$$

Для визначення сталих a_1 і a_2 використовуємо нульові початкові умови:

$$x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = 0. \quad (4)$$

Підставивши (2) і (3) в (4), знаходимо, що

$$a_1 = -\frac{1}{c} (mg \cdot \Delta f - kv_0); \quad a_2 = \frac{1}{\omega} (\mu a_1 - v_0). \quad (5)$$

Враховуючи вирази (3) і (5), для визначення часу $t = t_1$, коли зупиняється рухома маса m , за умови $\alpha = \frac{\mu}{\omega} - \frac{\mu^2 + \omega^2}{\omega v_0} a_1$ одержуємо трансцендентне рівняння

$$\cos \omega t_1 - \alpha \sin \omega t_1 = \exp(\mu t_1). \quad (6)$$

У випадку довільних α, μ рівняння (6) доводиться розв'язувати числовими методами на комп'ютері. Але іноді можливо побудувати його наближені аналітичні розв'язки. Розглянемо наступні випадки.

1. При малих α і μ корінь ωt_1 наближається до 2π . Тому аналогічно [5], приймаємо

$$\omega t_1 = 2\pi - \varepsilon, \quad (7)$$

де $\varepsilon < 1$.

Підставивши (7) в (6), знаходимо

$$\cos \varepsilon + \alpha \sin \varepsilon = \exp\left(\frac{2\pi\mu}{\omega}\right) \exp\left(-\frac{\mu}{\omega} \varepsilon\right). \quad (8)$$

Увівши наближення:

$$\cos \varepsilon \approx 1 - \frac{1}{2} \varepsilon^2; \quad \sin \varepsilon \approx \varepsilon; \quad \exp\left(-\frac{\mu}{\omega} \varepsilon\right) = 1 - \frac{\mu}{\omega} \varepsilon + \frac{\mu^2}{2\omega^2} \varepsilon^2,$$

з точністю до ε^2 , замість (8), одержуємо квадратне рівняння $\varepsilon^2 - 2A\varepsilon + B = 0$, де

$$A = \frac{\frac{\mu}{\omega} \exp(\xi) + \alpha}{\frac{\mu^2}{\omega^2} \exp(\xi) + 1}; \quad B = 2 \frac{\exp(\xi) - 1}{\frac{\mu^2}{\omega^2} \exp(\xi) + 1}; \quad \xi = \frac{2\mu\pi}{\omega}.$$

Розв'язок квадратного рівняння приводить до формули

$$\varepsilon = A + \sqrt{A^2 - B}, \quad (9)$$

яка, разом з (7), дає можливість наближено знайти t_1 .

2. Елементарним перетворенням рівнянню (8) можна надати вигляд

$$\varepsilon = \arccos \frac{\exp(\xi) \exp\left(-\frac{\mu}{\omega} \varepsilon\right)}{\sqrt{1 + \alpha^2}} + \arccos \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2}}. \quad (10)$$

Обчислення ε за формулою (10) зручно проводити методом простих ітерацій, прийнявши початкове наближення $\varepsilon = 0$, або обчисливши таке наближення за формулою (9).

Враховуючи, що при $\varepsilon < 1$, $\exp\left(-\frac{\mu}{\omega} \varepsilon\right) \approx 1$ і (10), приходимо до висновку: рівняння (8) може не мати малих значень кореня, якщо

$$\exp\left(\frac{2\pi\mu}{\omega}\right) > \sqrt{1 + \alpha^2}. \quad (11)$$

За цієї умови виключається можливість автоколивань з зупинками маси, внаслідок дії сили опору в'язкого середовища.

Знайшовши ε , а потім t_1 , далі можна розраховувати величину переміщення маси $x(t_1)$ за один цикл автоколивань. Для цього треба одержане значення t_1 , підставити в (2) і врахувати вирази (5).

Період автоколивань T при цьому дорівнює $T = \frac{1}{\nu_0} x(t_1)$.

Тривалість t_2 стоянки маси на кожному циклі становить: $t_2 = T - t_1$.

Отже, основна задача розрахунку параметрів автоколивань полягає у визначенні t_1 , із трансцендентного рівняння (6).

Аналіз результатів розрахунку. Для проведення обчислень приймаємо $m = 4$ кг; $c = 1600$ Н/м; $\nu_0 = 0,15$ м/с; $\Delta f = 0,1$ і різні значення k . Результати обчислень параметрів автоколивань записано в табл. 1 і табл. 2.

Таблиця 1

Значення ε , обчислені різними способами

k , кг/с	формула (9)	формула (10), 1 ітерація	формула (10), 5 ітерацій	метод дихотомії
0	0,6540	0,6321	0,6321	0,6321
0,5	0,5865	0,5579	0,5649	0,5649
1,0	0,4915	0,4494	0,4690	0,4690
1,2	0,4306	0,3636	0,4041	0,4041

Таблиця 2

Значення параметрів автоколивань при $\nu_0 = 0,15$ м/с

k , кг/с	t_1 , с	t_2 , с	T , с	$100 x(t_1)$, м
0	0,2826	0,0327	0,3153	4,7288
0,5	0,2859	0,0290	0,3150	4,7245
1,0	0,2907	0,0240	0,3147	4,7213
1,2	0,2940	0,0207	0,3147	4,7204

Розрахунки показують, що проведення ітерацій по формулі (10) дає можливість з високою точністю обчислити ε . Сила опору зовнішнього середовища мало впливає на параметри автоколивань, хоча збільшення k супроводжується певним збільшенням часу руху t_1 і зменшенням часу стоянки t_2 . Але, незважаючи на малий вплив опору середовища, уже при $k = 1,3$ кг/с зникають автоколивання з зупинками маси і виконується нерівність (11).

Таблиця 3

Значення параметрів автоколивань при $\nu_0 = 0,1$ м/с

k , кг/с	t_1 , с	t_2 , с	T , с	$100 x(t_1)$, м
0	0,2686	0,0491	0,3176	3,1761
1	0,2730	0,0438	0,3167	3,1674
2	0,2791	0,0370	0,3161	3,1607
2,5	0,2840	0,0318	0,3158	3,1584

В табл. 3 наведено обчислені значення параметрів автоколивань для вказаних вище числових даних, але при $\nu_0 = 0,1$ м/с та інших значеннях k . На від-

міну від попереднього прикладу, тут автоколювання з зупинками маси можливі до $k = 2,5$ кг/с. Вони зникають коли $k = 2,6$ кг/с. Для цього значення k виконується нерівність (11). Отже, збільшення коефіцієнта в'язкого опору до певних значень призводить до усунення автоколювань, спричинених різницею значень коефіцієнта тертя спокою і руху.

Висновки. Одержані аналітичні розв'язки дають можливість розрахувати параметри автоколювань механічної системи, спричинені різницею значень коефіцієнтів тертя спокою і тертя ковзання. Наявність сили опору в'язкого середовища несуттєво впливає на параметри автоколювань, але досягнувши певної величини вона усуває автоколювання з зупинками маси.

Список літератури: 1. Физико-механический анализ автоколебательных режимов работы вибрационной рыхлительной лапы культиватора / Д.Г. Войтюк, Ю.В. Човнюк, Ю.О. Гуменюк и др. // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук-техн. журнал. – Вінниця, 2012 – Вип. 2(66). – С. 10–16. 2. Ловейкін В.С. Дослідження релаксаційних автоколювань за спрощеної характеристики тертя у скребкових конвеєрах при транспортуванні сипких матеріалів / В.С. Ловейкін, Ю.В. Човнюк, О.Ю. Костина // Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Х.: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 135. – С. 328-335. 3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с. 4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1980. – 270 с. 5. Бурлака В.В. До розрахунку релаксаційних автоколювань у скребкових конвеєрах / В.В. Бурлака, О.М. Малець, В.П. Ольшанський // Физические и компьютерные технологии: труды 19-й Международной научно-практической конференции. – Х.: ГП ХМЗ “ФЭД”, 2014. – С. 120–123.

УДК 539.3:534.1

НАБЛИЖЕНИЙ РОЗРАХУНОК КОЛИВАНЬ МЕХАНІЗМІВ ПРИ СПІЛЬНІЙ ДІЇ СИЛ В'ЯЗКОГО І СУХОГО ТЕРТЯ

Бурлака В.В., канд. техн. наук, **Малець О.М.**,
Ольшанський В.П., докт. фіз.-мат. наук

(Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка)

Using two variants of the method of energy balance derived compact formulas for calculating the amplitudes of oscillations of a mechanical system with one degree of freedom in terms of combined (viscous and dry) friction. Highly accurate approximation formulas obtained confirmed convergence of numerical results to which they lead, with previously obtained using exact solutions

Введение. При спрощених розрахунках колювань механізмів традиційно їх математичні моделі зводять до систем з одним ступенем свободи [1], [2]. В техніці для зменшення амплітуд колювань використовують демпфери в'язкого і сухого тертя [3]. В'язке тертя суттєво гасить резонансні колювання, а сухе – ефективно зменшує їх амплітуди поза межами резонансів. Тому доцільно вивчати закономірності колювань при спільній дії сил сухого і в'язкого тертя. Ви-

ходячи з цього, в роботі [4], методом припасовування розв'язків, одержано точні формули для обчислення вільних затухаючих коливань. Тут, на відміну від [4], пропонуються наближені розв'язки цієї задачі динаміки методом енергетичного балансу [1].

Метою роботи є побудова та апробація наближених формул обчислення амплітуд вільних затухаючих коливань осцилятора. Для досягнення вказаної мети використано два варіанти методу енергетичного балансу. В першому з них доводиться складати і аналітично розв'язувати диференціальне рівняння огинаючої графіка коливань, а в другому не потрібні ці дії.

Побудова розрахункових формул. Коливальний рух системи описуємо диференціальним рівнянням [4]:

$$m\ddot{x} + cx = \varphi(\dot{x}), \quad \text{у якому} \quad (1)$$

$$\varphi(\dot{x}) = -\mu\dot{x} - F_T \text{sign}(\dot{x}); \quad (2)$$

m - маса системи; c - коефіцієнт жорсткості; μ - коефіцієнт в'язкого тертя; F_T - сила сухого тертя; $x = x(t)$ - лінійне горизонтальне переміщення; t - час; крапка над x означає похідну по t .

Якщо рух маси, як матеріальної точки, відбувається на площині, нахилений під кутом α до горизонту, то за законом Кулона: $F_T = fmg \cos \alpha$. Тут f - коефіцієнт сухого тертя; g - прискорення вільного падіння. Причиною коливань вважаємо початкове відхилення системи вліво від положення рівноваги на відстань a_0 . Тому рівняння [1] доповнюємо початковими умовами:

$$x(0) = -a_0 < 0; \quad \dot{x}(0) = 0. \quad (3)$$

На першому розмасі (напівциклі) коливань, коли система рухається горизонтально зліва направо у додатному напрямі вісі ox , $\text{sign}(\dot{x}) = 1$ і згідно з (2):

$$\varphi(\dot{x}) = -\mu\dot{x} - F_T. \quad (4)$$

Переміщення системи при цьому апроксимуємо виразом:

$$x = -a \cos \omega t, \quad (5)$$

де $\omega = \sqrt{c/m}$ - частота коливань; $a = a(t)$ - монотонна функція, яка дуже повільно змінюється у часі.

Тоді похідна від (5) по t наближено дорівнює:

$$\dot{x} = a\omega \sin \omega t. \quad (6)$$

Обчислимо роботу A сили $\varphi(\dot{x})$ на проміжку часу $t \in (0; \pi/\omega)$, що відповідає першому розмаху:

$$A = \int_0^{\pi/\omega} \varphi(\dot{x}) \dot{x} dt. \quad (7)$$

Підставивши в (7) вирази (4) і (6), одержуємо:

$$A = -2F_T a - \frac{1}{2} \pi \mu \omega a^2. \quad (8)$$

Реалізуючи перший варіант методу енергетичного балансу, зміну потенціальної енергії Δu на першому розмасі коливань подаємо формулою [1]:

$$\Delta = c \frac{\pi}{\omega} a \frac{da}{dt}. \quad (9)$$

Враховуючи (8) і (9) та умову енергетичного балансу $\Delta u = A$, одержуємо диференціальне рівняння:

$$\frac{da}{dt} = -\frac{\mu}{2m} a - \frac{2F_T}{\pi\sqrt{cm}}. \quad (10)$$

Його розв'язуємо при початковій умові:

$$a(0) = a_0, \quad (11)$$

що узгоджується з (3). Розв'язок задачі Коші, поданої (10) і (11), має вигляд:

$$a(t) = a_0 \exp\left(-\frac{\mu t}{2m}\right) - \frac{2F_T}{\lambda c} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu t}{2m}\right)\right], \quad (12)$$

де $\lambda = \pi\mu(2\sqrt{cm})^{-1}$.

Отже, (12) описує верхню огинаючу графіка коливань. Формула (12) дає можливість наближено обчислити час руху t_* осцилятора до повної його зупинки. Поклавши в (12) $a(t) = 0$, одержуємо рівняння, коренем якого є:

$$t_* = \frac{2m}{\mu} \ln\left(1 + \frac{c\lambda a_0}{2F_T}\right). \quad (13)$$

Із (13) витікає, що коли $F_T \rightarrow 0$, то $t_* \rightarrow \infty$. При $\mu \rightarrow 0$ маємо невизначеність типу $|\frac{0}{0}|$. Розкривши її, одержуємо:

$$t_* = \pi a_0 \frac{\sqrt{cm}}{2F_T}.$$

Отже при відсутності сили сухого тертя ($F_T = 0$) тривалість руху осцилятора нескінченна, а при $\mu = 0$ осцилятор здійснює на протязі $t \in (0; t_*)$ обмежену кількість напівциклів n_* , причому:

$$n_* \leq 1 + \text{цїла частина}\left(\frac{ca_0}{2F_T}\right).$$

Щоб знайти амплітудне відхилення осцилятора в кінці першого розмаху a_1 , підставимо в (12) значення $t = \pi / \omega$. Тоді

$$a_1 = a_0 q - \frac{2F_T}{\lambda c} (1 - q),$$

де $q = \exp(-\lambda)$.

Структура останньої формули не зміниться і при розгляді інших розмахів:

$$a_k = a_{k-1} q - \frac{2F_T}{\lambda c} (1 - q), \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

Із рекурентного співвідношення (14), як окремі випадки, впливають відомі залежності. Так при відсутності сили сухого тертя ($F_T = 0$):

$$a_k = q a_{k-1}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Спадання амплітуд підпорядковано закону геометричної прогресії зі знаменником $q < 1$. Якщо $\mu \rightarrow 0$, то $q \rightarrow 1$; $1 - q \rightarrow \lambda$ і граничний перехід в (14) дає

$$a_k = a_{k-1} - \frac{2F_T}{c}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Тут спадання амплітуд відбувається за законом арифметичної прогресії, що узгоджується з давно відомими результатами [1], [2].

Амплітудне відхилення системи в кінці k -го розмаху a_k можна також виразити через початкове відхилення a_0 . Використовуючи формулу суми членів геометричної прогресії та (14), одержуємо

$$a_k = a_0 q^k - \frac{2F_T}{c\lambda}(1 - q^k),$$

що є альтернативою співвідношенню (14).

Далі розглянемо другий варіант методу енергетичного балансу. Зміну потенціальної енергії Δu на першому розмасі коливань подаємо у вигляді

$$\Delta u = \frac{1}{2} c (a_1 - a_0) a, \quad (15)$$

де $a = a_0 + a_1$.

Прирівняння Δu до A , з урахуванням виразів (8) і (15), одержуємо лінійне рівняння з невідомим a_1 :

$$c(a_1 - a_0) = 2F_T + \frac{\pi\mu}{4} \sqrt{\frac{c}{m}} (a_0 + a_1).$$

Із нього випливає, що

$$a_1 = a_0 \zeta - \frac{F_T}{c}(1 + \zeta), \quad (16)$$

де $\zeta = (1 - \frac{\pi\mu}{4\sqrt{cm}})(1 + \frac{\pi\mu}{4\sqrt{cm}})^{-1}$.

Узагальнивши (16), одержуємо рекурентне співвідношення:

$$a_k = a_{k-1} \cdot \zeta - \frac{F_T}{c}(1 + \zeta), \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

Наближена формула (17) відрізняється від точної формули в [4] тим, що у точному розв'язку задачі $\zeta = \exp(-\lambda)$.

Тому похибка формули (17) пов'язана з похибкою апроксимації

$$\exp(-\lambda) \approx \frac{1 - 0,5\lambda}{1 + 0,5\lambda}.$$

Інформацію про умовно точні (до 10^{-4}) та наближені значення експоненти надаємо в табл.1. При $0 \leq \beta < 0,5$ похибка апроксимації знаходиться у межах одного відсотка. Перетворивши (17), одержуємо вираз a_k через a_0 :

$$a_k = (a_0 - \frac{F_T}{c})\zeta^k - 2\frac{F_T}{c} \cdot \frac{1 - \zeta^k}{1 - \zeta} + \frac{F_T}{c}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Ця формула є альтернативною до (17).

Таблиця 1

Похибки апроксимації при різних β

β	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\exp(-\beta)$	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065
$\frac{1-0,5\beta}{1+0,5\beta}$	0,9048	0,8182	0,7391	0,6667	0,6000
похибка %	0	0,061	0,229	0,537	1,072

Порівняний аналіз результатів розрахунку. Для проведення обчислень приймали: $m = 3 \text{ кг}$; $c = 1962 \text{ Н/м}$; $F_T = 5,886 \text{ Н}$; $x_0 = 0,063 \text{ м}$ та два значення $\mu = 5 \text{ кг/с}$ і $\mu = 10 \text{ кг/с}$. Отримані результати записано в табл. 2.

Таблиця 2

Значення $100a_k, \text{ м}$.

k	$\mu = 5 \text{ кг/с}$			$\mu = 10 \text{ кг/с}$		
	із [4]	фор. (14)	фор. (17)	із [4]	фор. (14)	фор. (17)
1	5,116	5,117	5,116	4,587	4,591	4,586
2	4,047	4,048	4,047	3,192	3,198	3,190
3	3,082	3,084	3,082	2,055	2,064	2,053
4	2,211	2,214	2,211	1,130	1,139	1,127
5	1,425	1,428	1,425	0,376	0,386	0,374
6	0,716	0,719	0,715	0,238*	0,228*	0,240*
7	0,075	0,079	0,075	-	-	-

Символом * позначено розмахи, при яких система не проходить положення $x = 0$.

Запозичені з [4] значення a_k обчислені на основі точного розв'язку задачі динаміки. У табл. 2 маємо узгодженість результатів, одержаних різними методами. Другий варіант методу енергетичного балансу виявився більш точним, ніж перший варіант методу.

Висновки. Розрахунки і порівняльний аналіз підтвердили, що метод енергетичного балансу дає можливість простим способом одержати наближені формули високої точності для обчислення амплітуд коливань механічної системи з комбінованим тертям. Збільшення коефіцієнта в'язкого тертя прискорює темп згасання амплітуд та зменшує кількість напівциклів, зроблених осцилятором за час руху.

Список літератури: 1. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1980. – 270 с. 2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М.: Физматгиз, 1959. – 439 с. 3. Ларин А.А. Очерки истории развития теории механических колебаний / А.А. Ларин. – Севастополь: „Вебер”, 2013. – 403 с. 4. Бурлака В.В. До розрахунку коливань механізмів при спільній дії сил сухого і в'язкого тертя / В.В. Бурлака, В.П. Ольшанський, О.М. Малець // Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Х.: ХНТУСГ, 2014. Вип. 148. – С 19– 24.

ВЫБОР МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА РЕЗЕРВУАРОВ

Вернигора А.Р., Савченко Н.Ф., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца)

Printsipilnye considered approaches to choosing the production of large shells, their elements and structures

Проблема изготовления крупногабаритных изделий (примеры таких конструкций – это детали самолетов, автомобилей, вагонов, цилиндрические, эллиптические и сферические резервуары диаметрами или условными размерами более 3...5 м) обуславливает необходимость дальнейших усовершенствований технологии изготовления такого типа деталей.

Традиционные методы достаточно энергетически затратные: осуществляются с использованием специального прессового оборудования или методов последовательного формообразования изделий из отдельных элементов типа лепестков и с последующей их сборкой на монтажных площадках с использованием для повышения точности «гидрораздува» [1-4]. Как правило, коэффициент использования металла во многих случаях менее 50%.

Опыт изготовления крупногабаритных деталей в самолетостроении, нефтяном машиностроении показывает, что более перспективно использование импульсных беспрессовых методов штамповки, в частности, с использованием энергии взрыва. При этом с усложнением конструктивной сложности изделий и их габаритов роль импульсных методов увеличивается [2].

При этом с увеличением габаритов изделий определенного типа и объема выбор метода изготовления, от которых зависят такие критерии, как качество, расход материалов, технологичность изготовления, транспортировки и монтажа конструкций, в том числе металлических и железобетонных, фундаментов, теплоизоляции.

К указанным критериям относятся и эксплуатационные затраты, в первую очередь энергетические, а также ремонтные расходы, противопожарные мероприятия и др. Например, для изготовления сферической оболочки емкостью 400 м³ используются листы толщиной 6 мм, масса сферической оболочки 14 т. После соединения стыков производят гидрораздув оболочки для придания ей окончательной формы.

Учитывая чрезвычайную сложность изготовления или ремонта крупногабаритных сооружений, их решение возможно на основе поэтапного исследования ряда частных вопросов общей проблемы оптимизации параметров конструкций крупногабаритных деталей, прежде всего, резервуаров. В качестве важнейших критериев выбраны коэффициент использования металла и энергетические характеристики.

Разработан способ изготовления тонкостенной оболочки сложной пространственной формы или ее элементов последовательным формоизменением полуфабриката, расположенного в сборно-разборной оснастке типа стапеля, позволяет изготавливать такие изделия на монтажных площадках, используя несложные по конструкции подъемные и такелажные механизмы.

Полуфабрикат может быть выполнен из конической, цилиндрической или другой оболочки, развертываемой в зоне изготовления или ремонта крупногабаритной конструкции. Это снижает трудозатраты на изготовление и транспортирование достаточно объемного полуфабриката или изделия к месту монтажа.

В качестве силовых устройств разработаны конструкции специальных контейнеров и камер с энергоносителями, повышенной безопасности, а также легко транспортируемые переносные вакуумные камеры. Как пример одного из перспективных энергосиловых устройств, предлагается разработанное газодетонационное устройство универсального назначения. Устройство (защищено патентом Украины) позволяет регулировать и производить горючие газовые смеси непосредственно в рабочей зоне, что повышает безопасность работ.

При вакуумировании полости заготовки предложены оригинальной конструкции вакуумные камеры, спроектированные как ресурсо- и энергосберегающие изделия. Вакуум достигается при перемещении эластичного поршня под давлением воздуха, газа или пара.

Во многих случаях благодаря этому имеется возможность снизить как сроки изготовления, так и стоимость изготовления изделий за счет повышения исключения трудоемкого процесса сварки и последующих доводочных работ. В то же время возможно получение и многослойных тонкостенных оболочек, выдерживающих рабочее давление до 4...7 МПа.

Сферические, цилиндрические, эллипсоидальные и другие формы оболочек, изготовленные локально-последовательным импульсным деформированием, могут быть изготовлены непосредственно в зоне их размещения и использованы в пищевой промышленности для хранения вина, спирта, томатной пасты, а также для хранения бензина, аммиачной воды и других легкоиспаряющихся жидкостей.

Это обусловлено, как правило, необходимостью и сложностью доставки крупногабаритных деталей к месту монтажа, большими объемами сварочных и подготовительных работ, низкой точностью из-за сравнительно небольших размеров отдельных частей изделий, изготовление которых предполагает их предварительную поэлементную штамповку на предприятии, последующее руплонирование для придания приемлемых для транспортировки размеров и трудоемкую сборку в месте сооружения крупногабаритной конструкции.

Изготовление такого типа конструкций ведут, как правило, специальные строительно-монтажные организации и управления.

Разработки ХНЭУ позволяют 80–90% деталей крупногабаритных сооружений изготавливать непосредственно в зоне их монтажа без использования дорогостоящего оборудования.

Использование технологий, разработанных в ХНЭУ на кафедре техники и технологии (авт. св. СССР № 1540121, 1573631, 1575418, 1658477 и других), позволяют существенно (в 10 и более раз) снизить сроки и стоимость изготовления резервуаров.

Список літературы: 1. Способ изготовления сферических оболочек / М.Г. Скакунов, К.К. Липодат и др. // А.с. СССР № 755388 В 21D 51/08, Е 04Н 07/14 от 27.09.77 г. 2. Пихтовников Р.В. Перспективы развития листовой штамповки взрывом / Р.В. Пихтовников, В.К. Борисевич // Импульсная обработка металлов давлением: сб. статей под ред. В.К. Борисевича. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 4–7. 3. Мельников Э.Л. Холодная штамповка днищ / Э.Л. Мельников. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с. 4. Савченко Н.Ф. О проектировании техпроцессов гидровзрывной тонколистовой штамповки-вытяжки крупногабаритных деталей типа днищ / Н.Ф. Савченко // Импульсная обработка металлов давлением: сб. статей под ред. В.К. Борисевича. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 51–56.

УДК 662.997

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОСПРОИЗВОДИМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Спольник А.И., докт. физ.- мат. наук,
Волчок И.В., канд. физ.- мат. наук, **Калиберда Л.М.**, доцент
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

World experience is considered and the analysis of the use of unconventional energy sources is done in Ukraine

Важным фактором в разработке эколого-образовательных программ является учет специфики и направленности ВУЗа. Так, для ВУЗов аграрного профиля актуальны вопросы, относящиеся к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии (НВИЭ), широкое использование которых целесообразно в сельской местности. Как известно [1, 2], в результате использования НВИЭ достигается экологический и энергосберегающий эффекты.

В работе дано обобщение мирового опыта использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии, а также, исходя из географических, технико-экономических и экологических факторов, сделан анализ использования в различных регионах Украины энергии биомассы (биогаза), солнечной и ветровой энергетике, энергии малых рек. На основании проведенного анализа предлагается дополнить некоторые разделы общего курса физики материалами по практическому использованию НВИЭ, которые включают в себя следующий круг вопросов:

- 1) физические принципы НВИЭ;
- 2) эколого-экономические аспекты НВИЭ;
- 3) методологические подходы и концепция выбора вида НВИЭ для конкретного региона и производства.

Особое внимание в учебной программе уделяется получению биогаза при переработке органических отходов животноводческих и птицеводческих хозяйств, сахарной промышленности. На конкретных примерах показано, что развитие биотехнологии в Украине дает не только экологический эффект, но и энергосберегающий эффект в тепло- и электроснабжении. Подробно изложены основы анаэробной технологии утилизации органических отходов различного происхождения (микробиология процесса, конструкции биореакторов, методики получения минералоорганических удобрений, методы разделения на компоненты и оптимального использования биогаза).

Анализ показывает, что современное состояние **солнечной энергетики** в Украине характеризуется начальной стадией развития, среди приоритетов применения которой является разработка систем горячего водоснабжения и отопления в сельском хозяйстве и быту на основе использования эффективных и дешевых солнечных коллекторов из пластмасс и композиционных материалов.

Для использования **ветровой энергетики** целесообразно развитие работ по созданию гибридных агрегатов, включающих комбинацию ветроустановки и солнечной энергетической установки, что стабилизирует процесс получения электроэнергии, а также ветровых установок для индивидуальных потребителей.

Рассмотрение **биомассы** как источника энергии можно лишь в тех случаях, когда энергетическое использование не связано с уменьшением продовольственных запасов и негативным влиянием на окружающую среду. Поэтому наиболее перспективным направлением энергетического использования биомассы является производство биогаза, являющегося продуктом анаэробной бактериальной деструкции органических веществ. Биогаз состоит из смеси метана (50-85 %) и диоксида углерода (15-50 %).

Для Украины главными потенциальными источниками биогаза являются: отходы животноводства в сельском хозяйстве, коммунальные сооружения по очистке канализационных и сточных вод, свалки твердых бытовых отходов. Предварительные оценки потенциальных запасов биогаза на Украине свидетельствуют о том, что при максимальном использовании органических отходов и внедрении необходимой техники для получения биогаза, его часть в общем использовании горючих газов может составить 10 %.

Перспективным для Украины является развитие **малых форм гидроэнергетики**, поскольку потенциальные ресурсы притоков больших, средних и существующих малых рек составляют около 2600 МВт, а на имеющихся 260 водохранилищах емкостью $10 \div 100$ млн. м³ возможно строительство малых гидроэлектростанций с одиночной мощностью $0,5 \div 2,0$ МВт.

Исходя из научно-технического потенциала Украины, обеспечивающего развитие НВИЭ, выделены приоритетные варианты освоения НВИЭ в Украине, по которым можно разработать региональные и государственные программы их кратковременного развития и практического использования, обеспечивающие экологический эффект.

Проведенные обобщения позволяют заключить, что в Украине, вследствие особенностей ее географических условий и обеспеченности возобновляемыми источниками энергии, в обозримой перспективе (к 2020 г.) энергоустановки, использующие нетрадиционные возобновляемые источники энергии, могут занять ощутимое место в общем энергетическом балансе только децентрализованного (автономного) энергоснабжения. При этом экономия топлива составит 2–4 %.

Список литературы: 1. Васильев Ю.С. Экология использования возобновляющихся источников / Ю.С. Васильев, Н.И. Хрисанов. – Ленинград, 1991. 2. Фугенфиров М.И. Тенденции в развитии нетрадиционных возобновляемых источников энергии / М.И. Фугенфиров, Н.Л. Кошкин // Электрические станции, 1993. – № 6. – С. 63-68.

УДК 556.53

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Малыхин В.В., канд. техн. наук

(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Новиков С.Г., канд. техн. наук, **Глаголев Р.В.**, канд. с.х. наук,

Горбатенко С.А., канд. техн. наук, **Зайцев С.А.**, канд. техн. наук

(Курский институт социального образования (филиал) Российского государственного социального университета, г. Курск)

The problems of composite materials to improve the operational reliability of the equipment hydromechanization

Грунтовые насосы, трубопроводы, компенсаторы, отводы, переходники – оборудование гидромеханизации, работающее в условиях интенсивного износа.

Поэтому при проектировании, изготовлении и модернизации этого оборудования вопросам повышения долговечности необходимо уделять самое серьезное внимание. Решение этой проблемы достигается различными способами. Один из них традиционный – использование твердых и сверхтвердых сплавов. Однако этот способ не всегда экономичен. Как показывает наш опыт и опыт других исследований, целесообразнее использовать не повышенную твердость материалов, а учитывать эластичность таких материалов, как резина. Способность резин к высокоэластическим деформациям приводит к частичному поглощению и рассеиванию энергии ударов потока твердых частиц.

Однако сложность и недостаточная изученность природы физико-химических процессов гидроабразивного износа эластичных материалов, большая номенклатура оборудования гидромеханизации и резко отличающиеся условия его эксплуатации вызывают серьезные затруднения обоснованного вы-

бора соответствующих рецептур защитных резиноканевых покрытий. Наибольшее применение для защиты внутренней поверхности пульпопроводов нашли высокомолекулярные соединения, к которым относятся различные резиновые смеси.

Резина отличается от других технических материалов уникальным комплексом физико-механических свойств, из которых главное – высокая эластичность. Это свойство делает резину одним из основных конструкционных материалов. В отличие от других материалов она свободна к значительным, практически обратимым деформациям под действием больших нагрузок. Эластичные свойства резин сохраняются в широком интервале температур. Модуль упругости резины при температуре 230 °С находится в пределах 10-100 кгс/см². Для сравнения — модуль упругости стали составляет около 2000000 кгс/см². Резина отличается малой объемной сжимаемостью и большой величиной коэффициента Пуассона, составляющей 0,4-0,5 (для стали этот коэффициент равен 0,25). Способность резины к высокоэластичной деформации и высокая усталостная выносливость сочетаются со значительной износостойкостью, прочностью на разрыв и ударную нагрузку.

Гидроабразивное изнашивание резиноканевых материалов потоком абразивной пульпы происходит в результате многократного ударного воздействия на поверхность твердых частиц, вследствие чего в поверхностном слое резины накапливаются усталостные деформации, и резина разрушается. Способность резины перераспределять энергию ударов твердых частиц, частично поглощать и возвращать ее потоку, в конечном счете, и определяет износостойкость.

Большое значение на интенсивность гидроабразивного износа оказывает скорость релаксационных процессов, а также величина механических потерь [1-6]: чем меньше механические потери, тем выше износостойкость. При моделировании гидроабразивного износа резиноканевых материалов за меру износа может быть принята величина возвращаемой энергии при деформации резин.

Наиболее детально механизм гидроабразивного износа рассмотрен в работах Пенкина Н. С. [2, 6], который вывел графические и аналитические зависимости интенсивности изнашивания от различных свойств резин и условий износа: эластичности, динамического модуля, коэффициента трения, концентрации пульпы, скорости соударения, угла атаки твердых частиц и их размера.

Надежное прогнозирование срока службы резиноканевых трубопроводов, рабочих колес грунтовых насосов, компенсаторов и другого оборудования гидромеханизации, работающего в условиях гидроабразивного износа, возможно только на основании лабораторных или стендовых испытаний, моделирующих реальные условия эксплуатации. При лабораторных и стендовых гидроабразивных испытаниях образцы резиноканевых материалов либо обтекаются потоком пульпы, либо подвергаются действию струи.

Недостатком большинства лабораторных стендов является замкнутость цикла испытания, во время которого пульпа в лучшем случае периодически обновляется. Из-за этого условия испытаний не постоянны: изменяются грануло-

метрический состав пульпы, степень обкатанности твердых частиц. Все это существенно сказывается на величине интенсивности износа или относительной износостойкости по отношению к модельному образцу, изготовленному, как правило, из стали. Струеударные установки дают более сходимые результаты, чем установки, в которых образцы омываются потоком в замкнутом цикле испытаний. Существенный недостаток струеударных установок – непостоянство параметров испытаний, значительный разброс результатов.

Приближение к реальным условиям работы дают стенды, включаемые непосредственно в технологический или производственный процесс, т.е. там,



Рис. 1. Испытания напорно-всасывающего патрубка диаметром 800 мм

где образцы устанавливаются, к примеру, непосредственно в пульпопровод. На рис. 1 показана работа напорно-всасывающего патрубка диаметром 800 мм, установленного на всасывающей линии насоса 1 ГРТ 4000/71 в цехе хвостового хозяйства Михайловского ГОКа. После 1055 часов эксплуатации видимых следов гидроабразивного износа обнаружено не было. За время эксплуатации снижены вибрация напорного трубопровода и вероятность расцентровки насосных агрегатов. Недостатком таких испытаний является небольшая

скорость (до 5 м/с) и невозможность изменения параметров испытаний в широком диапазоне. В настоящее время на Михайловском ГОКе проходят промышленные испытания гибких эластичных компенсаторов осевых деформаций диаметром 1200 мм.

Компенсатор может компенсировать до 150 мм осевых перемещений. После 1000 часов промышленной эксплуатации видимых следов гидроабразивного износа нет. В табл. 1 представлены резиновые смеси, которые мы рекомендуем для пульпопроводов, транспортирующих грунты разных категорий [7].

Таблица 1

Резиновые смеси, рекомендуемые для пульпопроводов, транспортирующих грунты разных категорий

Назначение	Твердость по Шору, 4	Норма для резин	
		Эластический отскок, %	Потери объема при истирании, мм ³ по Din 53510
Гравийная гидросмесь	55-60	45	120
	58-65	43	145
	60-70	40	125
	45-55	50	150
Для грунтов, склонных к залипанию	30-40	72	95
Грунты III категории	65	45	150

Список литературы: 1. Фрикционный износ резины / под ред. В. Ф. Евстратова. – М.: Химия, 1964. 2. Пенкин Н.С. Гуммированные детали машин. – М.: Машиностроение, 1972. 3. Капралов Е.П., Дмитриев А.А., Бобров Г.М. и др. Гуммирование быстроизнашиваемых деталей обогатительного оборудования на предприятиях цветной металлургии. Л.: ЦНИИ-Цветмет, 1962. 4. Марей А. И., Извозчиков П. В. Определение износа в потоке абразивного зерна. 5. Бродский Г. И., Евстратов В. Ф. Истирание резин. М.: Химия, 1975. 6. Пенкин Н.С. Износостойкость гуммированных деталей машин в абразивных средах. МИНХ и ГП, 1978. 7. Чижов Е.А., Чижов А.Е., Новиков С.Г., Миронов А.К. Эксплуатационная надежность оборудования гидромеханизации из полимерных материалов // Гидротехника, 2012. № 1. – СПб, 2012. – С.97-99. 8. Новиков С.Г., Малыхин В.В., Сергеев С.А. Повышение эксплуатационной надежности оборудования гидромеханизации за счет применения полимерных композиционных материалов // Современная наука: проблемы, инновации, решения: материалы международной, научно-практической конференции (Курск, 27-28 февр.2014 г.)/отв. за выпуск Р.В. Глаголев; Курский институт социального образования (филиал) РГСУ, Инженерно-технический факультет. – ООО «Учитель», 2014. – С.79-82.

УДК 556.53

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И СНИЖЕНИЯ УЩЕРБОВ ОТ ПАВОДКОВ И НАВОДНЕНИЙ

Новиков С.Г., канд. техн. наук, **Глаголев Р.В.**, канд. с.х. наук,
Зайцев С.А., канд. техн. наук

(Курский институт социального образования (филиал) Российского
государственного социального университет, г. Курск)

Малыхин В.В., канд. техн. наук
(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Developed and implemented a flexible shell lengthy Engineering flood protection and flood

За последний 40-летний период (1969-2009гг.) количество природных катастроф в мире возросло более чем в 4 раза. Гидрологические бедствия являются самыми распространенными, составив в 2009 г. 53,7% от общего количества стихийных бедствий. В качестве примера, в результате наводнения в Южном и Центральном Китае в июле 2009 г. пострадало 39,4 млн. человек. По данным Института водных проблем РАН, прямой ущерб от наводнений в России составляет более 50 млрд. руб./год. Наиболее остро данная проблема ощущается на юге России в бассейнах рек Кубань, Терек, Сулака, Самура, Кума. Наводнения на притерноморских реках происходят фактически ежегодно. За последний 275-летний период значительные наводнения, вызванные дождями, ливнями и таянием снега зафиксированы более 200 раз.

Июльское наводнение на Кубани в 2012 г. относится к категории выдающихся. Российский Национальный центр управления в кризисных ситуациях работал в особом режиме уже с первых часов субботы 7 июля. Благодаря оперативно принятым мерам потенциальные потери в регионе чрезвычайной ситуации (ЧС) были значительно снижены. Всего по данным МЧС России было

спасено 872 человека, проведена эвакуация 2912 человек. К сожалению, в зоне ЧС погиб 171 человек, из них наибольшее количество погибших – в г. Крымске [1]. 2013 г. можно смело назвать годом наводнений. От водной стихии пострадали разные страны и в Европе, и в Азии, и в Америке.

Немало водных катаклизмов отмечено и в России. Так, наводнения случились в г. Нерехта Костромской области, в селах Никольское и Козюлино, расположенных в Томской области, в Тосно, Тихвинском и Волховском районах Ленинградской области.

Но самое мощное происходит на Дальнем Востоке. Начав шествие с Амурской области, наводнение за полтора месяца спустилось вниз по Амуру, покорив 3 региона. За выживание бьются тысячи спасателей и волонтеров.

В 2013 году ущерб сельхозпосевам из-за наводнений в России составит 8,7 млрд. рублей. Рекордные 7,9 млрд. убытков приходятся на Дальний Восток. Всего по стране затоплено 458 тыс. га сельхозугодий, 372 тыс. га пострадало на Дальнем Востоке.

Таким образом, одна из основных общесистемных проблем водохозяйственного комплекса РФ – возрастание ущербов от вредного воздействия вод природного и техногенного характера и защита от катастроф.

Наиболее часто применяются защитные сооружения, содержащие напорные дамбы или стенки из строительного материала, которые устанавливаются на пути возможного направления движения воды и ветра.

Недостатками земляных сооружений являются: значительная стоимость; меняется рельеф местности, что отрицательно сказывается на хозяйственной деятельности; частичное разрушение от стихийного действия; большая длительность возведения.

Учитывая то, что стихийные бедствия являются быстропротекающими во времени событиями, актуально решение поставленной проблемы путем совершенствования временных гидротехнических сооружений сравнительно невысокой стоимости, быстровозводимых, малой массы, отличающихся возможностью многократной установки различных расчетных створах при минимальных затратах.

Развитие химии, текстильной промышленности и строительной индустрии в XX-XXI вв. позволяет предложить быстровозводимые гибкие дамбы, которые могут быть использованы для предупреждения и ликвидации ЧС в период устройства основных защитных сооружений [2].

Целью наших исследований является: разработка и изготовление гибких длинномерных оболочек различного назначения, которые могут быть использованы в системе инженерной защиты территорий от паводков и наводнений.

К стратегическим задачам развития водохозяйственного комплекса РФ относятся:

- снижение ущербов от вредного воздействия вод в РФ;
- создание и внедрение инновационных технологий и технических средств;

- повышение безопасности гидротехнических сооружений.

Механизм реализации водохозяйственной стратегии РФ включает:

- совершенствование нормативно-правовой, нормативно-методической базы и методов государственного регулирования;
- создание эффективных систем управления;
- подготовку и переподготовку кадров, способных реализовывать новые инновационные технологии;
- развитие научно-технического и инновационного обеспечения;
- реализацию федеральных и региональных целевых программ инновационного развития в свете задач, сформированных в стратегии развития водохозяйственного комплекса РФ до 2020 гг.

Кафедра «Техносферная безопасность и экология» Курского института социального образования (филиал РГСУ) в содружестве с Институтом безопасности гидротехнических сооружений (г. Новочеркасск) и Курским предприятием ООО фирма «Рассвет-К» с 2003 года занимаются решением проблемы снижения ущербов от наводнений и обоснованием защиты. На текущий момент приведем некоторые наработки, связанные с поставленными целью и задачами.

Гибкие длинномерные дамбы

Дамбы представляют собой замкнутые плоскостворачиваемые оболочки длиной до 100 метров, периметром до 16 метров. В заполненном рабочей средой виде имеет цилиндрическую форму диаметром до 5 метров.

На рис. 1 показаны испытания дамбы для проверки отсутствия фильтрации. На рис. 2 – гидравлические испытания (опрессовка конструкции). На рис. 3 – гибкая дамба для отсечки воды при ремонте канала водохранилища.



Рис. 1. Пневматические испытания гибкой дамбы в производственном цехе фирмы ООО «Рассвет-К»

В качестве силовых элементов в оболочках используются высокопрочные синтетические материалы отечественного производства, имеющие по внутренней и внешней поверхностям полимерные покрытия.



Рис. 2. Промышленные испытания гибкой дамбы в г. Крымске Краснодарского края



Рис. 3. Быстровозводимая гибкая дамба с высотой 3,0 м, перекрывающая канал Варнавинского водохранилища

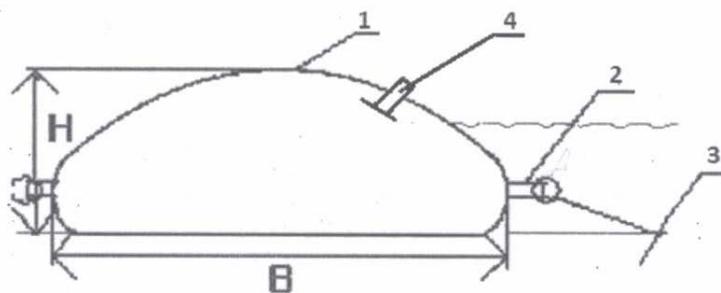
Пять оболочек такой же конструкции внедрены на Краснодарском водохранилище для наращивания существующих дамб в случае увеличения объема водохранилища.

Следует отметить, что наши первые дамбы испытаны и внедрены еще 5-6 лет назад. Однако, мы до сих пор видим, даже на примере Дальнего Востока, что затыкание брешей в местах возможного поднятия уровня воды происходит при помощи мешков с песком, как и много столетий назад.

Назначение

Гибкие длинномерные дамбы используются в качестве временных гидротехнических сооружений: для защиты объектов в береговой зоне от затопления, для возведения временных преград, водоподпорных плотин, заделки проранов, для временного хранения воды и т.д. Для устойчивости оболочку заполняют водой или гидросмесью не более 75% ее максимального объема, при этом она не требует специального крепления. Для заполнения гибкой дамбы

водой, сброса воздуха и опорожнения после окончания работ дамбы имеют несколько гибких патрубков (рис. 4). Диаметр патрубков и насосное оборудование определяет заказчик, исходя из необходимого времени заполнения оболочки водой.



1 - гибкая оболочка; 2- пояс усиления; 3- растяжка с анкерами; 4- патрубок
заливной

Рис. 4. Гибкая водонаполняемая дамба

Если есть вероятность волнового воздействия или каких-либо других внешних воздействий, способных повлиять на ее надежность, гибкая дамба изготавливается с поперечными поясами усиления, диаметрально расположенными ребрами жесткости, в которых имеются отверстия, армированные металлическими люверсами. К этим отверстиям крепятся растяжки с якорями или анкерами, обеспечивая большую устойчивость дамбы.

Характеристики дамб приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные типоразмеры и характеристики дамб

п/п	Рабочая высота Н, м	Периметр дамбы, м	Расчетный диаметр при тах заполнения, м	Отношение ширины основания В к высоте Н	Ориентировочная масса 1 м.п., кг	Цена 1 п.м. с НДС в руб.
	0,3	1,66	0,53	0,6 x 0,3	4,0	2240
	0,6	3,2	1,0	1,3 x 0,6	7,7	4480
	1,0	6,28	2,0	2,2 x 1,0	15,0	8750
	2,0	8,8	2,8	4,5 x 2,0	21,0	12320
	2,5	13,2	4,2	5,2 x 2,5	31,7	18200
	3,0	16,6	5,2	6,5 x 3,0	40,0	23340

Указанные выше пояса усиления на гибких оболочках позволяют создавать новые конструкции гидротехнических сооружений с использованием отдельных модулей.

Защитное гидротехническое сооружение (ГТС)

Для проведения отсечки воды при строительстве и ремонте ГТС, для создания или охлаждения воды в больших водоемах нами разработаны конструкции защитных ГТС.

На рис. 5 приведено одно из таких сооружений.

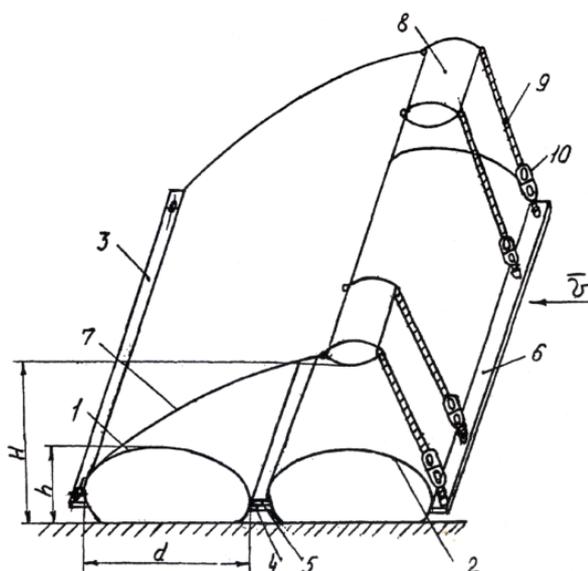


Рис. 5. Защитное гидротехническое сооружение с гибкой мембраной: 1 и 2 - гибкие цилиндрические замкнутые оболочки; 3 и 6 - внешние эластичные боковые ребра; 4 и 5 – внутренние эластичные боковые ребра; 7 - не замкнутые гибкая оболочка (мембрана); 8 – поплавок; 9 – гибкая связь; 10 - стропукокорачивающие устройства

Оригинальностью предложенной конструкции является то, что она реализована в виде отдельных модулей, представляющих комбинацию из замкнутых цилиндрических оболочек 1 и 2, заполняемых водой, каждая из оболочек имеет эластичные ребра усиления, расположенные вдоль образующих в диаметральной плоскости. Оболочки соединены между собой внутренними ребрами 9-10, гибкая мембрана 5 жестко закреплена своей нижней кромкой к внешнему ребру 3, верхняя кромка мембраны соединена с поплавками 6, гибкие растяжки 7 могут регулироваться по длине при помощи стропукокорачивающего устройства 8. Компоновка рекомендуется в водоемах с течениями [3, 4].



Рис. 6. Пневматический гибкий поплавок

Защитное ГТС защищено патентом России на изобретение № 2291931, полученным 20.01.2007 года. Цена защитного ГТС будет зависеть от глубины водоема H и внешних волно-ветровых условий. При средней глубине $H=5$ и отсутствии внешних волно-ветровых нагрузок защитное ГТС длиной 20 м будет стоить 110000 рублей с НДС [5].

Усовершенствованная конструкция, повышающая надежность и улучшающая эксплуатационные характеристики сооружения, защищена патентом России № 2374385 (27.11.2009).

Пневматический гибкий поплавок, используемый в указанной конструкции, показан на рис. 6.

Для транспортировки отдельные части дамбы наматываются в плоском виде на специальную штангу и перевозятся любым видом транспорта, включая авиацию (рис. 7).



Рис. 7. Гибкая замкнутая оболочка на катушке

Защитная гибкая секционная дамба

Защитная гибкая секционная дамба предназначена для создания временных перемычек с целью отсечки воды в водохранилищах при ведении строительно-монтажных и ремонтных работ, в качестве водоградительных дамб для защиты населенных пунктов от затопления при паводках, для установки в водоемах с донным течением и волно-ветровой нагрузкой на поверхности. Дамба состоит из гибких замкнутых оболочек, соединённых между собой в ряды посредством эластичных ребер.

Ряды цилиндрических оболочек размещены друг над другом с образованием усеченной пирамиды. В каждом последующем нижнем ряду пирамиды на одну оболочку больше числа оболочек верхнего ряда. Все ряды соединены между собой поясами усиления в виде гибких связей, закрепленных на всех внешних ребрах оболочек, составляющих пирамиду. Количество оболочек в каждом ряду и количество рядов зависит от условий эксплуатации, характеристики водоема и внешних условий. Все цилиндрические оболочки и межоболочное пространство заполняются водопесчанной смесью (рис. 8).

Работу по монтажу секционной дамбы начинают с подготовки места ее установки, планировки дна, удаления стволов деревьев и других предметов, уборки колющего и режущего мусора. Далее разматывают оболочки с барабанов параллельно друг другу и соединяют их внутренними ребрами по каждому ряду.

В оболочки каждого ряда закачивается гидросмесь. Цена защитной гибкой секционной дамбы зависит от количества цилиндрических оболочек в основании дамбы, количества рядов и размеров поясов усиления, удерживающих оболочки. Ширина пояса усиления до 500 мм. Устанавливается через каждый метр длины оболочек. Для дамб используются гибкие цилиндрические оболочки диаметрами 1000, 1500 мм, стоимость оболочки диаметром 1000 мм, 7650 за

1 пог.м, стоимость оболочки диаметром 1500 мм – 11300 за 1 пог.м. Стоимость 1 м² усиления – 200 руб. Все цены приведены с НДС.

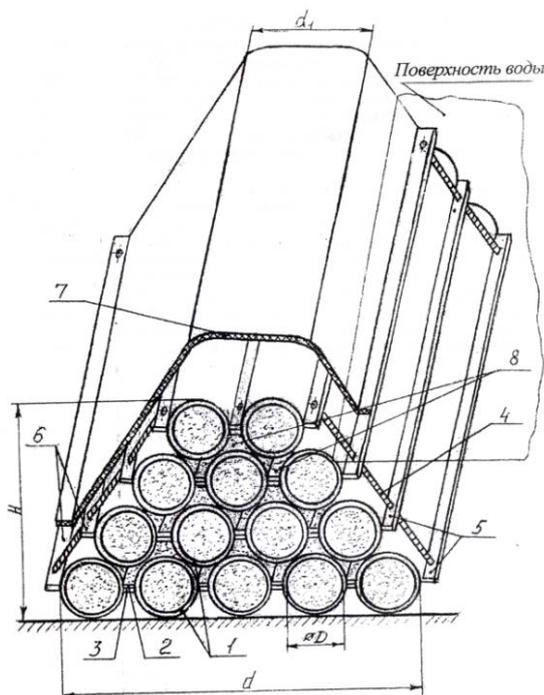


Рис. 8. Защитная гибкая секционная дамба: 1 – соприкасающиеся гибкие цилиндрические замкнутые оболочки; 2,3,5 и 6 – гибкие эластичные ребра; 4 - гибкая связь; 7 – противосолнечный экран ; 8 – межоболочное пространство

Для защиты дамбы от солнечной радиации и светового воздействия предусмотрен противосолнечный экран (Патент РФ № 2478750 от 20.09.2012г.) [6].

Выводы.

1. Наводнения принадлежат к числу наиболее опасных для человека природных явлений. По величине ущерба и числу жертв в XXI веке наводнения занимают первое место среди всех стихийных бедствий. За 2000-2009 гг. ущерб от наводнений в мире составил 45% всех природных катастроф, в 2010 г. ущерб составил 182 млрд. долларов. В последние 50 лет по мировой базе данных наблюдается тенденция роста ущербов от наводнений. Среднемноголетний ущерб от наводнений в РФ составляет более 50 млрд. рублей. Он почти в 8 раз меньше, чем в США. Однако по показателю «доля ущербов наводнений в ВВП» - РФ в 1,6 раз превышает средний по миру и более чем в 5 раз выше, чем в США.

2. Эффективным средством инженерной защиты от паводков и наводнений являются многооборачиваемые, быстровозводимые, водонаполняемые гибкие дамбы из композитных материалов.

3. Для организации массового производства таких дамб высокого качества и их удешевления требуется создание центра, где планомерно проводились бы теоретические и экспериментальные исследования, осуществлялось проектирование и изготовление продукции. Решение поставленных задач на должном

технічному рівні може бути виконано Курським інститутом соціального освіти (КІСО, філіал РГСУ), ООО фірмою «Росвіт-К».

Результати досліджень представлені на III Всеросійському Фестивалі Наук, проходившем 6-8 жовтня 2013 г. в Юго-Западному державному університеті г. Курськ.

Список літератури: 1. Наводнення: проблеми зниження ушкобів. Обоснование защиты / Волосухин В.А., Чижов А.Е., Новиков С.Г. [и др.] // Гидротехника, 2012. № 2(22). С.82-86. 2. Быстровозводимые гибкие гидротехнические сооружения для защиты территории от затопления и подтопления // Волосухин В.А., Чижов А.Е., Новиков С.Г. [и др.] // Физические и компьютерные технологии: тр. 12-й Междунар. науч.-техн. конф., 7-8 июня 2006г. Харьков, ХНПК «ФЭД», 2006. С.227-229. 3. Быстровозводимые гибкие дамбы и оболочки / Чижов Е.А., Чижов А.Е., Новиков С.Г. // Гидротехника, 2009. №3(16). С.64-66. 4. Пат. 2291931 Рос. Федерация: МПК E02B3/04; E02B7/02. Защитное гидротехническое сооружение / Волосухин В.А., Новиков С.Г., Чижов А.Е. [и др.]. № 2005119353/03; заявл. 21.06.2005; опубл. 20.01.2007, Бюл. №2. 8 с.: ил. 5. Пат. 2374385 Рос. Федерация: МПК E02B3/04; E02B7/02. Защитное гидротехническое сооружение / Волосухин В.А., Новиков С.Г., Чижов А.Е. [и др.]. № 2007131026/03; заявл. 14.08.2007; опубл. 27.11.2009, Бюл. №33. 8 с.: ил. 6. Пат. 2478750 Рос. Федерация: МПК E02B3/10; E02B7/02. Защитная гибкая секционная дамба / Новиков С.Г., Чижов А.Е., Чижов Е.А. [и др.]. № 2011108794/13; заявл. 09.03.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. №10. 10 с.: ил. 7. Новиков С.Г., Глаголев Р.В., Малыхин В.В., Сергеев С.А. Родионова И.Н. Решение проблемы снижения ушкобів от наводнений и обоснование защиты // Известия Юго-Западного державного університета. Серия Техника и технологии.- Курськ, 2013 - № 4.- С. 120-125.

УДК 621.793

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

Сухаренко А.С., студентка 2 курсу магістратури
(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)

In this work the issue by applying heat heat pump equipment

Тепловий насос для вітчизняних підприємств теплопостачання поки ще екзотика, і тому викликає гострий інтерес. Обладнання, про яке в більшості країн знають практично всі, в Україні, на превеликий жаль, відомо небагатьом. І мова йде скоріше про відсутність інформації, а ніж про організовану рекламну кампанію, якої і бракує, адже має місце бути недостача цілеспрямованого інформування підприємств тими структурами, які в першу чергу повинні бути стурбовані енергетичною незалежністю держави.

Тепловий насос використовує енергію природи, яка знаходиться в вентиляційному повітрі, землі, воді, повітрі, промислових і побутових стоках, шахтних водах і т.д. та в незначній кількості електричну енергію. Теплові насоси економічні та екологічні, оскільки процес горіння відсутній.

Перше застосування теплових насосів довело, що цей «зелений» захід, незважаючи на великі капітальні видатки на впровадження, в змозі економічно конкурувати з традиційними схемами отримання теплової енергії.

У результаті переходу на інноваційний та екологічно чистий шлях розвитку, в світі теплові насосні установки почали стрімко витіснити всі інші способи теплопостачання. На сьогоднішній день статистика з впровадження теплових насосів у світі приголомшує: Японія щорічно виготовляє близько 3 млн. теплових насосів; 50% всього опалення у Швеції забезпечують теплонасосні установки; 12% всього опалення Стокгольма забезпечується тепловими насосами, які в якості джерела тепла використовують Балтійське море з температурою близько +8°C; у Німеччині державою передбачена дотація на встановлення теплових насосів, при якій за кожний кВт встановленої потужності виплачується 200 євро; понад 1 млн. теплонасосів щорічно виготовляється в США.

До основних причин широкого визнання теплових насосів можна віднести наступне: екологічна чистота, яка досягається завдяки тому, що теплонасос не спалює паливо й не призводить до шкідливих викидів в атмосферу; економічність, адже при передачі в систему опалення 1 кВт теплової енергії, тепловому насосу необхідно лише 0,2-0,35 кВт електроенергії; невибагливе обслуговування, оскільки для функціонування теплової насосної станції потужністю до 10 МВт необхідно не більше одного оператора в зміну; легка адаптація до наявної системи опалення.

На ВО "КМРТМ" встановлено два повітряних теплових насоса для надання послуг гарячого водопостачання лікарняних установ влітку. Якби температура повітря взимку зберігалася та не опускалася нижче нуля, воно було б ідеальним джерелом низькопотенційного тепла.

У разі якщо температура зовнішнього повітря встановилася близько 0°C, робота теплової насосної установки стає неефективною, а при негативному значенні температури зовнішнього повітря він взагалі працювати не зможе. У зв'язку з наявністю згаданої вище проблеми, виробничій одиниці доцільно знайти інший вид теплонасосної установки, який зміг би працювати так само екологічно та ефективно, надаючи послуги споживачам цілий рік.

Практично невичерпним джерелом дешевої теплової енергії є тепло стоків. Стічні води є низькопотенційним джерелом тепла та зручними для використання тепловими насосами.

Розрізняють такі види стічних вод: побутові стоки, до яких належать господарські стічні води, що поступають з промислових підприємств та житлових будинків: кухонь, пралень, ванних, туалетів, лікарень і т. п.; стоки виробничого походження, в які поступають різноманітні технологічні відходи, що втрачають свою якість та підлягають видаленню з території, а також відходи, які виникають в результаті видобутку нафти, руди, вугілля та інших корисних копалин; атмосферні стічні води, до яких належать талі і дощові води, випадання яких відрізняється епізодичністю і нерівномірністю. Окрім цього сюди відносять води від фонтанів, поливання вулиць і дренажних систем.

Таким чином пропонується в якості удосконалення технології на ВО «КМРТМ» встановити пілотну теплову насосну установку для систем гарячого водопостачання на базі парокомпресійних теплових насосів, які утилізують теплоту каналізаційних стоків з метою скорочення споживання органічного палива в міському комунальному господарстві, зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище та забезпечення рівномірного навантаження мережі електроспоживання.

Обсяг вироблених містами стоків протягом року практично не змінюється. Температура стічних вод нижче температури зовнішнього повітря в літній час, а в зимовий значно вище. Це і робить їх оптимальним джерелом тепла для використання в теплових насосах.

Загалом розмір комунально-побутових стоків в Україні становить близько 3740 млн.м³ за рік. Температура їх знаходиться в межах 15-25°C і навіть у саме холодний період року не опускається нижче 10°C. З каналізаційними стоками в навколишнє середовище скидається величезна кількість тепла. Ця теплова енергія на даний момент ніяк не використовується.

Принцип роботи теплового насосу на побутових стоках аналогічний принципу роботи теплонасосної установки, що відбирає тепло з повітря, однак мають бути місце і відмінності. На рис. 1 представлена схема роботи теплового насоса на господарсько-побутових стоках.

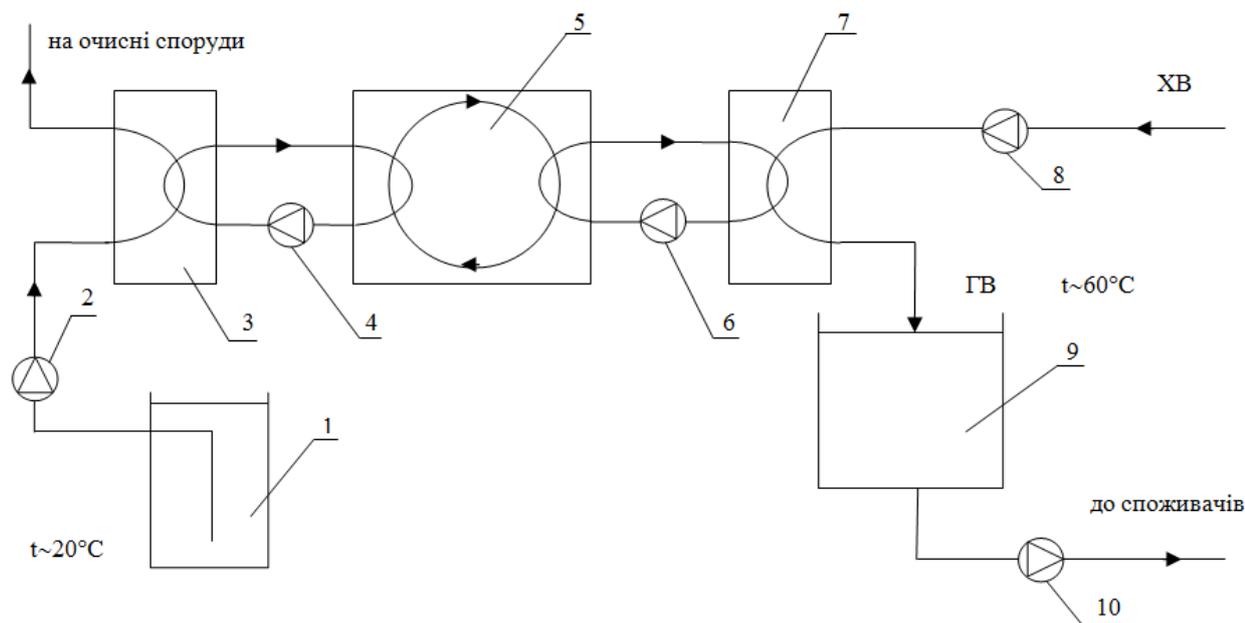


Рис. 1. Схема роботи теплового насоса на господарсько-побутових стоках для потреб систем опалення та гарячого водопостачання: 1 – резервуар накопичення господарсько-побутових стоків; 2 – фекальний насос; 3 – теплообмінник «труба в трубі»; 4 – насос антифризу; 5 – перетворювач низькотемпературної теплоти; 6 – насос дистильованої води; 7 – пластинчастий теплообмінник; 8 – насос холодної води; 9 – бак-акумулятор; 10 – насос гарячої води.

Нові технології із застосуванням теплових насосів дають можливість утилізувати тепло стоків і використовувати його для потреб гарячого водопостачання та опалення комунальних об'єктів, що дозволить значно знизити собівартість теплової енергії. Звичайна схема утилізації тепла стічних вод включає в себе тепловий насос і систему теплообмінних пристроїв.

На каналізаційно-насосній станції неочищені господарсько-побутові стоки, що надходять по каналізаційним колекторам, збираються в підземному приймальному резервуарі (1), після чого перекачуються на очисні споруди за допомогою фекального насосу (2). Утилізація низькопотенційного тепла каналізаційних стоків відбувається в підземному теплообміннику «труба в трубі» (3). Теплообмінник «труба в трубі» – це пристрій, що складається з вмонтованих одна в одну труб. В процесі роботи між ними проводиться обмін тепловою енергією. Такий теплообмінник простий у застосуванні, має оптимальний термін служби, а конструкція пристрою дозволяє робити своєчасну чистку без особливих трудовитрат. Експлуатація теплообмінника ускладнюється тим, що габарити конструкції великі, тому і потребують правильної організації місця.

Теплообмінна рідина (антифриз), що перекачується за допомогою насоса (4), у теплообміннику «труба в трубі» вбирає тепло та передає його перетворювачу низькотемпературної теплоти (5), в якому міститься фреон. Циркуючи по контуру фреон зазнає фазові перетворення в залежності від температури і тиску, при цьому він то випаровується, то конденсується. Тим часом дистильована вода за допомогою насоса (6) у перетворювачі низькотемпературної теплоти нагрівається та поступає до пластинчастого теплообмінника (7).

Теплообмінник пластинчастий являє собою пристрій, який виробляє передачу теплоти від гарячого теплоносія до середовища, що нагрівається через пакети пластин, при чому холодні і гарячі шари чергуються один з одним. Саме тут відбувається підігрів холодної води (ХВ), що подається насосом холодної води (8), і вже гаряча вода (ГВ) з вихідною температурою близько 60°C надходить до бака-акумулятора (9), який встановлено поруч з котельною для згладжування нерівномірності споживання гарячої води та зменшення одиничної потужності устаткування, а там вже за допомогою насоса (10), гаряча вода відпускається кінцевим споживачам. Перевагами застосування теплових насосів на стічних водах є те, що вони: маловитратні, ефективні та надійні, оскільки не потребують спеціального технічного обслуговування. Недоліками такої теплонасосної установки є: велика вартість обладнання, складності при установці, потреба у великій технологічній площі.

Сучасна ситуація, що склалася в житлово-комунальному господарстві, підтверджує той факт, що на сьогоднішній день в світі присутні колосальні потенційні можливості заощадження недешевого палива та зменшення забруднення продуктами горіння й технологічними скидами навколишнє середовище при впровадженні теплових насосних установок різного функціонального призначення в тих місцях, де це впровадження доцільно.

Навіть зараз, не чекаючи підтримки від держави, серед виробників прояв-

ляється підвищений інтерес до впровадження теплонасосних технологій отримання теплової енергії, як ефективного інструмента енергозбереження.

Виконаний короткий аналіз проблем і можливостей використання теплонасосної технології перетворення низькопотенційної теплоти дозволяє зробити висновки про те, що теплові насоси є найбільш перспективними серед джерел «нетрадиційної енергетики» і заслуговують особливої уваги з боку підприємців, які прагнуть налагодити ефективно і екологічно чисте виробництво і вирішити фінансові проблеми.

Науковий керівник докт. техн. наук Новіков Ф.В.

УДК 621.318.5.002

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ВОДИ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Сметаніна А.В., студентка 2 року магістратури
(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)

The work reasonably promising application of the method of wastewater disinfection by ultraviolet irradiation

Джерелом води для обслуговування споживачів Харкова є Сіверський Донець. Спочатку обробки вода з річки поступає у водозабірний ківш, у якому розташований водозабірний оголовок зі встановленими в ньому решітками. Далі з водозабірною оголовка вода по двом самопливним лініям поступає в водоприймальний колодязь з плоскими сітками. Потім вода з колодязя по чотирьом трубопроводам поступає на насоси. Далі вода потрапляє у камеру переключення, а потім вода подається на очисні споруди. На очисних спорудах відбувається знезараження і очистка води. Технологічний процес очистки води включає: первинне хлорування, коагулювання, змішування, відстоювання, фільтрування і вторинне хлорування. Прийняте компонування очисних споруд забезпечує неперервний самоплив з міста надходження її на споруди і до її виходу з них. Разом з тим, при розгляді існуючої технології можна виділити проблему, пов'язану з недостатньою якістю води, оскільки, проходячи через обробку хлором, вода набуває хлорний запах і не досить підходить для вживання її в якості питної води. До того ж робота з хлорним господарством досить небезпечна, бо балони з хлором вибухонебезпечні та легкозаймісті, а сам зріджений газ надзвичайно отруйний. При цьому, якщо в воду потрапить хлору більше ніж норма, вода стане отруйною. Тому необхідно розробити заходи, щодо заміни обробки хлором на менш отруйну обробку, але з такими ж очисними властивостями.

Одним із важливих заходів є заміна обробки хлором на обробку за допомогою ультрафіолетового випромінювання.

Жорстке короткохвильове ультрафіолетове випромінювання, що входить до складу сонячного спектра, є смертельно небезпечним для всіх форм життя на нашій планеті. На щастя, 90% падаючого на Землю ультрафіолету поглинається озоновим шаром атмосфери і - набагато менша кількість - водяною парою, киснем і вуглекислим газом.

Згубний вплив УФ-променів відкрили в ХІХ-му столітті. Перші спроби використовувати ультрафіолетове знезараження води були зроблені на початку ХХ-го століття – на тлі загального зростання винаходів, вівся активно і пошук нових способів знезараження води ультрафіолетом. Пізніше, з розвитком генетики, бактерицидні властивості ультрафіолету отримали пояснення: ультрафіолет руйнує ДНК, РНК і клітинні мембрани мікроорганізмів, що робить неможливим їх розмноження.

Деякі методи очищення та знезараження питної води (наприклад, хлорування) можуть зажадати після себе доочистки (наприклад, дехлорирування на вугіллі). У цій ситуації важливо, що ультрафіолет не чинить ніякого залишкового негативного впливу на органолептичні властивості води, тому після УФ-стерилізації питна вода не потребує додаткової обробки.

Складність пристрою системи знезараження води залежить від ефективності використовуваних методів і обладнання. Для УФ-методу не існує обмеження верхнього порогу дози опромінення. Тобто, при збільшенні ступеня забруднення води можна просто збільшити потужність УФ-випромінювача, не ускладнюючи систему новим обладнанням.

Екологічна чистота, відносно низькі експлуатаційні витрати і висока ефективність зробили метод УФ-знезараження затребуваним в самих різних областях, де потрібна висока якість і безпечність води: житлові і промислові об'єкти, харчове виробництво, медичні установи.

УФ-знезараження стічних вод отримало широке поширення не тільки через свою високу ефективність, але й з причини порівняно низьких витрат на устаткування і його експлуатацію. Конструктивна простота УФ-знезаражувачі забезпечує йому тривалу роботу без поломок. Установки для хлорування прості за конструкцією і недорогі, проте хлоромістні речовини отруйні.

Ультрафільтрація – це порівняно новий процес, який полягає в тому, що рідина «продавлюється» через напівпроникну мембрану при відносно низькому тиску або під вакуумом. Традиційно використовувані методи відстоювання і фільтрування для попередньої підготовки в промисловості та отримання питної води в комунальному господарстві в даний час не забезпечують високу технологічну та санітарну надійність. Введення додаткових стадій очищення (озонування, сорбція активованим вугіллям та ін.) призводить до збільшення експлуатаційних витрат і, відповідно, собівартості очищеної води.

Ультрафільтрація води – це максимально ефективний спосіб очищення циркулюючої в системі рідини від всіляких білкових і нерозчинних тонкодисперсних домішок. Крім того, ультрафільтрація дозволяє видаляти з води органічні сполуки і різні види бактерій; затримує зважені речовини, мікроорганізми,

водорослі, бактерії і віруси, значно знижує мутність. Так само вона ефективно зменшує окислюваність і кольоровість води. Ультрафільтрація замінює відстоювання, осадження і мікрофільтрацію. Ультрафільтрація води – це метод очищення, який заснований на тому, що вода проходить через спеціальний фільтр (мембрану). Очищена вода проходить назовні, через мембрану, а всі забруднення затримуються всередині (рис. 1).



Рис. 1. Принцип роботи ультрафільтрації

Установка ультрафільтрації води є конструкція, що складається з окремих мембранних модулів через які проходить рідина. Від кількості і типорозміру модулів залежить продуктивність установки (рис. 2).

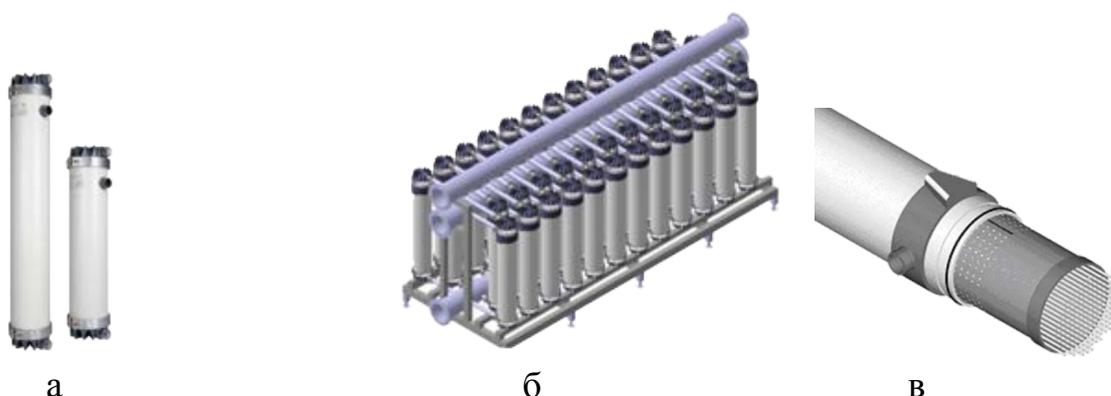


Рис. 2. Модуль (а), установка (б) і волокна модуля (в) ультрафільтрації

Модуль ультрафільтрації води складається з тонких багатоканальних волокон (рис. 2,в). Волокна виготовляються з модифікованого поліестерсульфону. Таких волокон в модулі десятки тисяч. Їх розмір 0,02 мкм. При проходженні води через модуль чиста вода проходить назовні, а забруднення не проходять через пори волокон (рис. 3,а) і залишаються всередині.

У робочому режимі фільтрування вода проходить з внутрішньої сторони волокон назовні (рис. 3,б,в). Переваги ультрафільтрації: ефективна фільтрація води (фільтрація при робочому тиску до 4 атм.); знижена кількість використаних реагентів; проста автоматизація; повне видалення зважених речовин; дезінфекція (видалення 99,99% бактерій і вірусів); освітлення води (зниження

каламутності та кольоровості води); ультратонке очищення води (ступінь фільтрації 0,02 мікрон). Ультрафіолетове знезараження стічних вод використовується в господарсько-побутової, комунально-міській та промислових сферах. Знезараження стічних вод ультрафіолетом ефективно знищує практично всі види бактерій і вірусів.

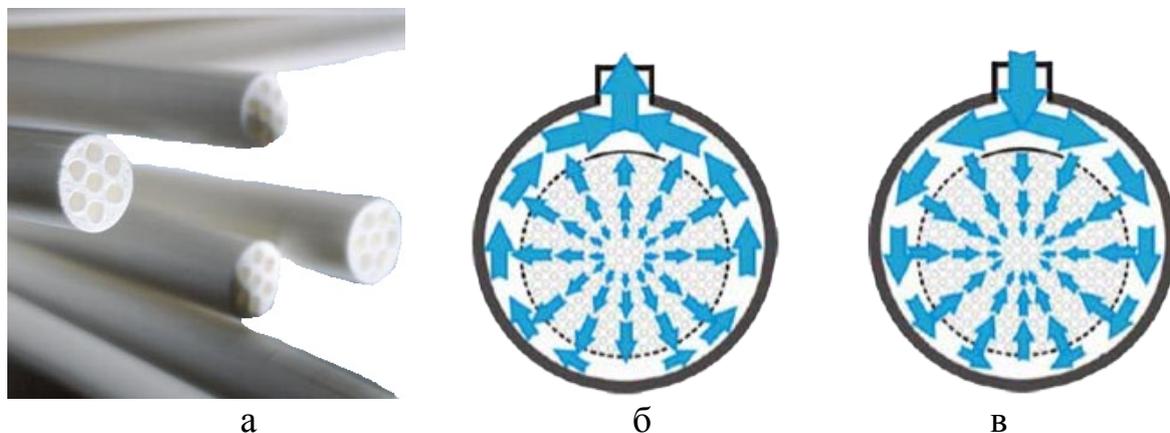


Рис. 3. Пори волокон модуля ультрафільтрації (а), поперечний переріз – режим фільтрування (б) і режим зворотного промивання (в)

УФ-знезараження стічних вод отримало широке поширення не тільки через свою високу ефективність, але й з причини порівняно низьких витрат на устаткування і його експлуатацію. Конструктивна простота УФ-знезаражувачів забезпечує йому тривалу роботу без поломок.

Для оцінювання собівартості процесу знезараження стічних вод необхідно оцінити питомі витрати, які необхідно понести для здійснення знезараження 1 м³ стоків. Згідно з діючими нормами витрата хлору для знезараження 1 дм³ стічних вод становлять 10 мг активного хлору. Тобто питома витрата активного хлору для знезараження 1 м³ стоків складають 10 г/м³. Враховуючи, що ціна 1 тонни хлору становить 6500 грн. Вартість хлору, який необхідно затратити для знезараження 1 м³ стоків, складе 0,065 грн/м³.

При знезараженні стічних вод ультрафіолетовим опроміненням основними факторами, які впливають на собівартість процесу знезараження, є питомі витрати електроенергії, ресурс УФ-ламп, їх вартість і витрати, пов'язані з безпосередньою експлуатацією УФ-обладнання. Враховуючи, що питомі витрати електроенергії для знезараження 1 м³ попередньо очищених стоків складають від 20 до 30 Вт/м³, вартість витраченої на знезараження 1 м³ стічних вод електроенергії складе 0,024 – 0,036 грн/м³. Враховуючи ціни на УФ-лампи, їх ресурс (9000 – 16000 годин), а також середню питому продуктивність УФ-ламп, яка при знезараженні очищених стічних вод складає 0,04 – 0,05 м³/(Вт·год.), стає можливим оцінити питому вартість УФ-ламп, яка становить 0,017 – 0,024 грн/м³. Також враховуючи, що сучасні УФ-установки практично не вимагають обслуговування, експлуатаційними витратами, які пов'язані з їх технічним обслуговуванням, можна знехтувати.

Підраховуючи питомі витрати, пов'язані з витратами на використовувану електроенергію і закупівлю УФ-ламп, можна зробити висновок, що питомі витрати на УФ-знезараження попередньо очищених стічних вод становлять 0,041 грн/м³, що практично збігається з питомими витратами знезараження очищених стічних вод хлором. Отже, враховуючи екологічні, експлуатаційні та економічні аспекти знезараження стічних вод різними методами можна зробити висновок про перспективність застосування методу знезараження стічних вод ультрафіолетовим опроміненням.

Науковий керівник докт. техн. наук Новіков Ф.В.

УДК 62-529:658.786

ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДКРИВАННЯ ВІКОН НА СКЛАДІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Лісова Ю.А., студентка 2 року магістратури
(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)

The peculiarities of organization of technological process on the enterprise's warehouse are studied. Peculiarities and types of the automatic windows systems are considered. The necessity of installation of the automatic windows systems on warehouses of the domestic enterprises is proved

В сучасних умовах господарювання з кожним роком спостерігається загострення конкуренції, що вимагає від підприємств оптимізації всіх бізнес-процесів, в тому числі і складського процесу. Через це, все більше вітчизняних підприємств шукають шляхи скорочення витрат на організацію технологічного процесу на складі. Питаннями ефективної організації технологічного процесу на складі займалися такі вчені, як А. М. Гаджинський [1], Н. А. Майзнер, М. Ю. Ніколаєва [2], Е. Фразеллі [3] та ін., проте недостатньо уваги було приділено проблемам ефективного підтримування у складському приміщенні належних умов для зберігання сировини.

Метою даного дослідження є розгляд функцій автоматичних систем для відкривання вікон та видів приводів, на основі котрих вони працюють, а також обґрунтування необхідності застосування таких систем на вітчизняних підприємствах. Для ефективної організації складського процесу, на багатьох промислових підприємствах складають технологічні карти.

Карти технологічного процесу – це документ, що регламентує цикл операцій, виконуваних на конкретному складі. Технологічні карти визначають склад операцій та переходів, встановлюють порядок їх виконання, містять технологічні умови та вимоги, а також дані про обладнання, необхідне для виконання зазначених у карті операцій [1].

Типова технологічна карта для складу сировини на промисловому підприємстві містить такі операції: відвантаження сировини з транспортного засобу; приймання сировини за якістю; транспортування сировини до зони

зберігання; розміщення сировини на складі; зберігання сировини на складі та видача її у виробництво.

При оптимізації складського процесу, варто звернути увагу на останню операцію, що передбачає зберігання сировини на складі. В залежності від типу сировини, котра зберігається, у складському приміщенні необхідно підтримувати належні умови зберігання. На всіх вітчизняних підприємствах підтримуванням належних умов зберігання сировини займаються комірники. Одним з основних завдань комірників, що стосуються підтримки належних умов зберігання, є своєчасне провітрювання складського приміщення з метою запобігання виникнення займання вибухонебезпечних речовин. На сьогодні існує безліч технологій, котрі допомагають провітрювати приміщення без втручання людини. Однією із таких технологій є автоматична система для відкривання вікон.

Автоматична система для відкривання вікон стає все більш популярною. Сфера застосування автоматики для вікон охоплює велику кількість промислових об'єктів, таких як склади та теплиці, також автоматика для вікон знаходить застосування в інших приміщеннях з великими розмірами вікон [4]. На складі більшості промислових підприємств, вікна розташовуються під самою стелею. Через це, відкривати такі вікна для робітників може бути проблематично.

Автоматика для вікон дозволяє легко відкривати та закривати стулки вікна незалежно від того, де вони знаходяться, та управляти провітрюванням за сигналом з дистанційного пульта. Основною перевагою автоматики для вікон є можливість використання з нею у комплексі датчиків погодних умов. Автоматика, котра підключена до системи, здатна самостійно, без участі людини, визначати, яку дію необхідно виконати в залежності від обставин. Так, у випадку пожежі, автоматика відкриє вікно та запобіжить задимленню приміщення, а в умовах дощу чи сильного вітру – навпаки, змусить стулки зачинитися [4].

Відкривання та закривання вікна здійснюється за допомогою приводу. Наразі, на ринку представлено декілька видів приводів. Найбільш розповсюджені види приводів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Види приводів, що використовуються у автоматичних системах для вікон (розроблено автором на підставі [4,5])

Назва приводу	Сфера використання	Характеристика приводу
1	2	3
Ланцюгові приводи	Областю його застосування є, переважно, верхньопідвісні та нижньопідвісні вікна невеликих розмірів.	У даного типу приводу робочий механізм виконаний у вигляді спеціального ланцюга з ланками особливої конструкції, котра допускає вигин ланцюга лише в одну сторону та має ребро жорсткості. Ланцюговий привід відповідає всім стандартам монтажу автоматичних систем для верхньопідвісних, нижньопідвісних вікон, а також люків та мансардних вікон. Електромеханічний ланцюговий привід встановлений у нейлоновий корпус.

1	2	3
Приводи з рейковою передачею	Використовуються для автоматизації масивних вікон верхнього освітлення, zenітних ліхтарів та фрамуг.	В силу того, що приводи даного типу оснащені високим рівнем захисту, вони можуть застосовуватися в умовах прямої дії кліматичних факторів та у приміщеннях, де присутнє агресивне середовище чи підвищена вологість. Рейкові приводи відрізняються безпекою та стійкістю. Автоматика для вікон з рейковими приводам здатна приводити в рух навіть великогабаритні стулки вікон використання рейкового приводу дозволяє відкривати вікна не лише всередину приміщення, а й назовні.
Штокові приводи	Можуть застосовуватися для вікон будь-якого типу	Виконують функцію автоматичного відкривання вікон, як у звичайному, так і у бічному напрямі. До основних переваг такого приводу можна віднести наявність бічних направляючих шин. Конструкція приводу складається з мотору, штока та плати управління. Корпус приводу герметичний, що запобігає потраплянню всередину води, бруду та пилу. Приводи даного типу застосовуються для дистанційного відкривання вікна та здатні легко переводити вікно зі стадії провітрювання в повністю відкрите положення. Така система робить зручним закриття та відкриття вікон та надає комфортний контроль над провітрюванням, а також здатна реагувати на погодні умови або пожежу всередині приміщення.

Таким чином, виходячи з даних табл. 1 можна сказати, що для складу промислового підприємства найкращим варіантом буде використання автоматичних систем, що працюють на базі приводів з рейковою передачею, оскільки велика кількість вітчизняних промислових підприємств працює з вибухонебезпечними речовинами. Тобто у складському приміщенні присутнє агресивне середовище.

Одним із кращих представників на ринку автоматики для вікон є італійська компанія «ТОРР». Автоматика для вікон «ТООР» вигідна тим, що на одну централь управління можна встановити велику кількість приводів. Тож, якщо підприємство планує автоматизувати процес відкриття вікон на складі сировини, доцільним буде придбати автоматичну систему для вікон у цієї компанії.

Автоматична система для вікон складається з декількох елементів. Елементи автоматичної системи на базі рейкових приводів виробництва «ТОРР» та їх характеристика наведені у табл. 2.

Таким чином, виходячи з даних з табл. 2 можна сказати, що для автоматизації провітрювання складського приміщення, промислового підприємству необхідно придбати автоматичну систему, котра складається із трьох основних компонентів – централь управління, рейкові приводи та пульт управління. Варто зазначити, що кількість рейкових приводів має дорівнювати кількості вікон у складському приміщенні. Для повної автоматизації процесу провітрювання

складу рекомендовано також встановити датчики дощу та вітру, що забезпечать автоматичне закриття вікон при несприятливих погодних умовах.

Таблиця 2

Складові елементи автоматичної системи на базі рейкового приводу виробництва компанії «ТОРР» (розроблено автором на підставі [6])

Назва елемента	Характеристика елемента
1	2
Основні елементи	
Централь управління	Дає можливість підключити групу автоматичних приводів для вікон та дверей на центральний пульт управління. Контролює відкривання та закривання приводів, а також їх роботу. Має вбудований радіоприймач, роз'єми для підключення датчиків дощу, вітру та температури. За допомогою централі можна одночасно або окремо відкривати до 16 приводів в залежності від їх типу.
Рейковий привід «Т50»	Живлення від постійного струму - 24В. Є можливість встановити декілька приводів на одне вікно шириною до трьох метрів. Передбачене регулювання елементів кріплення по всій довжині привода. В комплект входить спец рейка з високою опірністю навантаженням та ходом до 1 м. можливість встановлення додаткових точок тиску.
Пульт управління «TR8»	Радіопульт. Має резинові кнопки з блакитною під світлою. Живлення від 2 батарей по 3В. магнітна задня стінка дозволяю кріпити його до настінної панелі у будь-якому положенні. Відстань дії – до 100 м від централі управління.
Додаткові елементи	
Датчик дощу «RPR»	Фіксується назовні споруди та підключається до централі. Спрацьовує на закриття вікна при попаданні дощу на сенсорну панель. Не чуттєвий на росу, туман чи град.
Датчик вітру «RW»	При перевищенні запрограмованої швидкості вітру передає сигнал на централь управління, котра дає команду на закриття вікна. Виготовлений із погодо стійкого пластика з системою лопатей, що обертаються, для виміру швидкості вітру.

Встановлення такої системи призведе до вивільнення робітників, котрі були зайняті вентиляцією приміщення, що дозволить підприємству скоротити витрати на оплату праці. Крім того, відпаде необхідність перебування робітників у шкідливих для їх здоров'я умовах, що сприятиме підвищенню їх працездатності.

Науковий керівник канд. техн. наук Савченко М. Ф.

Список літератури: 1. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник / А. М. Гаджинский. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. – 484 с. 2. Автоматические оконные системы [електронний ресурс]. – Режим доступу: http://oknapro.com/view_prod.php?prod=0&id=2; 3. Электические окна. Основные виды приводов [електронний ресурс]. – Режим доступу: http://okna-trust.ru/avtomaticheskie_okna 4. Автоматика для окон фирмы «ТОРР» [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.proaccess.kiev.ua/article/avtomatika-dlya-okno-topp>.

РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ СКЛАДСЬКОЇ ПЛОЩІ

Савченко М.М., Логвин О.О., студентка 2 року магістратури
(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)

Describes methods of designing racking system wholesale trade to improve productivity targets and maximize efficiency of storage space

В сучасних умовах виникає необхідність забезпечити ефективний розвиток підприємства та зростання його потенціалу. Це вимагає впровадження в діяльність підприємства нових технологій та вдосконалення існуючих процесів.

Для оптових торговельних компаній важливим фактором зростання потенціалу є нарощування складських площ для забезпечення максимального задоволення потреб своїх клієнтів. Власні склади дозволяють не тільки розширювати асортимент товарів, але й втримувати власні дилерські мережі.

Метою даної статті є розробка методології збільшення ефективності використання складської площі на прикладі опису впровадження методики проектування стелажної системи головного складу оптової торговельної компанії, що займається торгівлею гумово-технічними виробами.

Головний склад компанії знаходиться поруч з центральним офісом, його загальна площа 600 кв. м. Особливості даного складу як елемента логістичної системи представлений в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика головного складу ТОВ «Арті»

№ п/п	Критерій класифікації	Характеристика складу
1.	Місце в логістичному ланцюзі	Склад збутової організації – забезпечує безперервний рух товарів зі сфери виробництва у сферу обігу. Головне призначення: перетворення виробничого асортименту в торговельний.
2.	Функціональне призначення	Склад зберігання – забезпечує зберігання та накопичення необхідного товару для задоволення попиту споживачів.
3.	Конструктивні характеристики	Закритий склад. Параметри складу: довжина – 30 м, ширина – 20 м, висота – 6 м. Об'єм складу – 3600 куб. м.
4.	Специфіка і номенклатура товарів, що зберігаються	Спеціалізований склад для зберігання гумо-технічних виробів.
5.	Ступінь механізації складських операцій	Механізований склад – використовують рокли та навантажувач.

Технологічні зони головного складу представлені в табл. 2. Для більш раціонального використання корисної площі складу ділянки прийомки, комплектування та відправної експедиції об'єднані. Площа прийомної експедиції відсутня. Облік та контроль поступаючих товарів, а також відправлення замов-

лень сприяє забезпеченню рівномірності обслуговування вантажопотоків, максимальному використанню наявних складських площ і необхідні параметри зберігання, скороченню строків зберігання запасів, а також інтенсифікації обертів складу.

Таблиця 2

Технологічні зони головного складу

Технологічна зона	Площа, кв. м	Відсоток від загальної площі, %
Вантажна площа	253,05	42,18
Допоміжна площа	263,23	43,87
Площа робочих місць	12,1	2,01
Площа прийомки, комплектування, відправки	71,62	11,94
Всього	600	100

Після проведенного аналізу ефективності роботи головного складу торгівельної компанії можна виділити основні недоліки у функціонуванні складського господарства: 1) низький коефіцієнт ефективності використання складського об'єму зумовлений неправильно спроектованою стелажною системою. Розміри полиць для зберігання не повністю заповнюються, або не здатні вмістити весь обсяг конкретного артикулу; 2) відсутня система адресного зберігання – через значну широту асортименту неможливо забезпечити зберігання товарів поартикульно; 3) низький коефіцієнт продуктивності праці складських робітників пов'язаний з неефективною організацією складського обліку; 4) розміщення товарів на складі хаотичне, без чіткої структури у зв'язку з чим час збору товарів збільшується.

Для вирішення даних проблем було вирішено спроектувати нову стелажну систему, яка б відповідала всім необхідним вимогам, а разом з тим і розробити нову систему складського обліку. При технологічному плануванні нової стелажної системи було пройдено декілька етапів:

1. Збір інформації про характеристики вантажів, зокрема вантажогабаритні характеристики, умови зберігання (табл. 3).

Таблиця 3

Вантажогабаритні характеристики групи товарів «Ремені» на головному складі ТОВ «Арті»

Група товарів	Вага товару в упаковці, кг	Габаритні розміри упаковки		
		Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм
Ремені:				
Basis	50	1000	600	200
Excellent	50	1300	600	200
Carlisle	45	600	500	300
Pix	35	600	550	250
Toyopower	40	500	500	300

Умови зберігання: склад повинен бути сухим, незапиленим. Заборонено зберігати ремені разом з паливно-мастильними матеріалами, кислотами.

Зберігати ремені без прямого попадання сонячних променів. Приміщення повинно бути з вологістю менше 65%. Ремені повинні зберігатися не перекрученими та ненапруженими.

2. Розрахунок рівня максимального запасу кожного товару, що зберігається на складі був визначений як відношення даних про постачання товару за певний проміжок часу до коефіцієнту оборотності товарів.

3. Розрахунок необхідної кількості полицок для зберігання товарів на складі проведений на основі зібраних даних для кожної товарної одиниці.

4. Планування зони зберігання включає визначення конструкції місць зберігання і складання схеми розміщення стелажів. Для визначення конструкції полиць використовується інформація зібрана на першому етапі технологічного планування стелажної системи та враховується зручність збору товарів для відправлень. При аналізі були обрані полицьові стелажі, що максимально задовольняють вимоги до складського обліку, а також обрана технологія стелажів – мезонін, це дало наступні переваги: раціональне використання складської площі; розміщення товарів поартикульно; впровадження адресного зберігання товарів; прямий доступ до кожного товару без використання додаткових засобів; збільшення швидкості збору товарів по накладним.

5. На етапі планування розміщення товарів на складі основними завданнями було: зменшити час на відбір товару по замовленням клієнтів; зменшити дистанції проходження комплектувальником по зонам в процесі відбору; знизити кількість помилок при комплектації замовлень; забезпечити рівномірне навантаження на технологічні зони складу та персонал; зменшити сумарні дистанції проходження товару по складу.

Для вирішення даних завдань було проведено АВС-аналіз товарів, що реалізуються з метою виявлення їх оборотності та найбільшої ліквідності. В процесі розміщення товарів по АВС-аналізу асортимент був розбитий по групам «Виробник» та «Бренд». Отже, в результаті впровадження нової стелажної системи та системи складського обліку можна видіти наступні переваги: зниження пересорту товарів – контроль при прийомці товарів дозволить виявляти одразу невідповідності в поставлених товарах, а в результаті зменшують можливість помилкового відвантаження товарів клієнтам, що в свою чергу зменшує втрати прибутку; зниження рівня упущених продажів – регулярне проведення вибіркової інвентаризації допомагає отримувати менеджерам оперативну інформацію про складські залишки товарів; зниження витрат на організацію ручної праці і допоміжні операції з вантажем; підвищення ефективності використання складських площ – стає доступною інформація, які товари довго лежать на складі і займають багато місця; вивільняється час персоналу за рахунок його раціонального використання, відповідно скорочується чисельність персоналу; підвищення ефективності використання транспортно-навантажувального обладнання дозволяє економити пробіг (ремонт і електроенергію).

Науковий керівник канд. техн. наук Савченко М. Ф.

Список літератури: 1. Аникин А. Б. Логистика: Учеб. пособие / Под. ред. Б. А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 327 с. 2. Николайчук В.Е. Логистика: теория и практика управления: учеб. пособие / В.Е. Николайчук, В.Г. Кузнецов. – Донецк: НОРДПРЕСС, 2006. – 540 с. 3. Бажин И.И. Проектно-логистическое управление ресурсным обеспечением: монография / И.И. Бажин, В.В. Сысоев. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2005. – 222 с.

УДК 621.923

ШЛЯХИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ

Коробкова Г.О., студентка 2 року магістратури
(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця)

The work proved by reconstruction turbogenerators

Державним підприємством «Завод «Електротяжмаш» було випущено турбогенератор ТГВ-200М номінальною потужністю 200 МВт з водяним охолодженням обмотки статора. Турбогенератор практично виробив регламентований ресурс і вимагає повузлової модернізації або заміни. Таким чином, необхідно провести реконструкцію з метою підвищення одиничної потужності блоків, розширення діапазону допустимих навантажень (особливо при температурі води, що охолоджує, вище 33 °С), підвищення надійності устаткування та мінімізації витрат при реконструкції.

Завдяки надійній конструкції і достатньому налаштуванню власних частот коливань від тих, що вимушують корпус статора, система підвіски сердечника і сам сердечник, як правило, знаходяться у доброму стані турбогенератора ТГВ-200М, навіть відпрацювавши більше 30 років. Робочі індукції, а отже, і питомі втрати в зубцях статора, декілька нижче, ніж в інших турбогенераторів даного класу. Це обумовлено тим, що обмотка статора має одну паралельну гілку у фазі (тобто мале число пазів - 30) і зубцева зона «не затінена зайвою ізоляцією стержнів». Дані обставини дозволяють виконати реконструкцію статора в умовах станції.

При реконструкції велику увагу слід приділити обмотці статора: її конструкції, кріпленню стержнів в пазовій і лобовій частинах, способу охолодження і теплоконтролю.

Для зниження втрат в обмотці статора перетин міді стержня необхідний декілька збільшити при збереженні його зовнішніх розмірів. Вибрані ізоляційні матеріали і технологія виготовлення корпусної ізоляції стержнів обмотки дозволять зменшити товщину ізоляції без зниження її електричної міцності.

Для забезпечення гарантованої протоки рідини, що охолоджує, через кожен стержень слід організувати подачу і злив води з кожного стержня за допомогою фторопластових шлангів, тим самим виключити мідні трубчасті перемички, які є одним з ненадійних елементів системи охолодження обмотки унаслідок появи в них тріщин при підвищенні вібрації голівок стержнів (в разі осла-

блення їх кріплення). У місцях з'єднання шлангів, що підводять воду, і зливних з наконечниками стержнів виключити ущільнювальні гумові кільця і застосувати надійніше чисто металеве з'єднання типу «конус-сфера». Модернізована система охолодження обмотки статора дозволить контролювати температуру води на сливі з кожного стержня, що розширить діагностичні можливості системи теплоконтролю турбогенератора ТГВ-200М.

Для забезпечення надійної роботи турбогенератора ТГВ-200М із збільшеними струмами в обмотці статора, тобто із збільшеними механічними навантаженнями, що діють на стержень, в пазовій і лобових частинах стержні обмотки статора слід надійно закріпити з використанням сучасних конструкцій і технологій для забезпечення підвищеної надійності і ремонтпридатності.

Усі дистанційні колодки і конструктивні деталі, прилеглі до бічних частин обмотки, слід встановити на формопласті, що виключить тим самим якінебудь зазори між ними. Використання натяжних елементів дозволить закріпити лобові частини із заданим зусиллям, а використання лавсанового шнура - створити додаткове обтискання тангенціальних стягувань, дистанційних колодок. Склобандажна стрічка і лавсановий шнур слід просочити термореактивним компаундом гарячого затвердіння.

Кріплення стержнів в пазах статора слід здійснити за допомогою складних клинів, що «самовстановлюються». Конструкція клину забезпечить як надійне закріплення стержня в пазу, так і виключить нерівномірне натиснення клину на стержень, тобто забезпечить паралельність нижньої поверхні клину і верхньої частини стержня.

Реконструкцію ротора слід проводити у заводських умовах і включити два основних заходи: удосконалити систему вентиляції обмотки і підвищити термічну стійкість ротора до несинхронних полів статора. Крім того, відновити зношені деталі, вузли і деякі місця на валу ротора.

Удосконалення системи вентиляції обмотки ротора полягає у виконанні роздільного охолодження пазової і лобової частин обмотки. Це досягається фрезеруванням у кожному четвертому витку обмотки двох вхідних отворів у торці бочки ротора для подачі газу відповідно в пазову і лобову частини обмотки, а наявні вхідні отвори в лобових частинах обмотки використовуються для виходу газу з лобових частин [3, 4]. Зону викиду газу з лобових частин слід відокремити від напірної зони шляхом встановлення відповідних склотекстолитових колодок (рис. 1). При цьому температура обмотки ротора знижується на 10... 15 °С, в той же час при модернізованій системі охолодження допустима температура обмотки підвищується на 5 °С у відповідності із стандартами.

При реконструкції також слід застосовувати усі ізоляційні матеріали класу нагрівостійкості «Р», що при необхідності дозволить підвищити допустиму температуру обмотки ще на 15 °С. У практиці експлуатації енергосистем неминучі несиметричні режими і режими роботи на нелінійне навантаження. Вказані режими можуть існувати у різних комбінаціях, продовжуватись тривало або бути короткочасними. Короткочасні несиметричні режими викликаються корот-

кими замиканнями (КЗ), тривалі бувають наслідком несиметричного навантаження або роботи при неповнофазній передачі енергії.

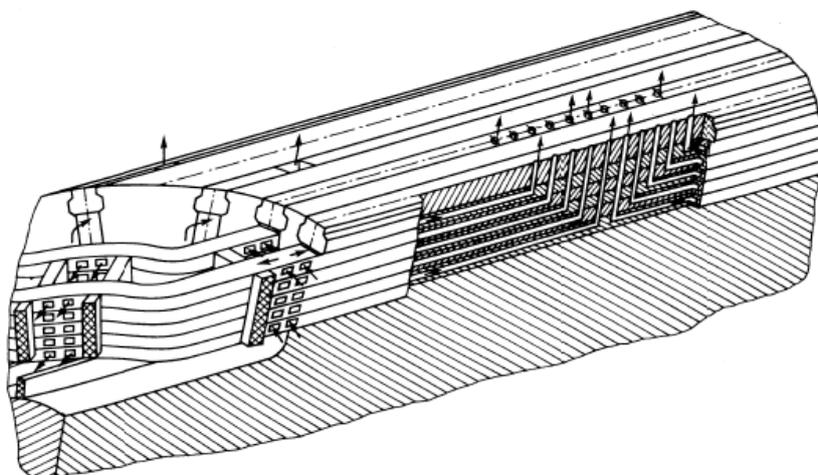


Рис. 1. Встановлення склотекстолитових колодок

Як при несиметричних, так і при несинусоїдальних навантаженнях в генераторах, що працюють в енергосистемі, виникають несинхронні поля, які приводять у контурах ротора струми підвищеної частоти.

Струми, що наводяться в роторі, як сила від струмів зворотної послідовності, так і сила, що намагнічує, що намагнічує, від вищих гармонік струму статора мають малу глибину проникнення і замикаються по одних і тих же шляхах; втрати, що виділяються при цьому, в контурах ротора викликають не лише додатковий нагрів ротора, але і підгари у контактуючих елементах: клин - зуб, бочка ротора - бандажне кільце. Найбільші підгари спостерігаються в зонах великих зубців, особливо в кінцевій зоні ротора.

У турбогенераторі ТГВ-200М єдиним заходом, що знижує струми, що наводяться на бочці ротора, було виконання кільцевих проточок, які виявилися недостатньо ефективними при значній несиметрії і несинусоїдальності.

Найбільш простим і ефективним рішенням є вживання кінцевих бронзових клинів, що встановлюються по обидві сторони кільцевих проточок з одночасним збільшенням натягу при посадці бандажного кільця. Вживання кінцевих клинів з бронзи як в обмотувальних пазах, так і в пазах великого зуба забезпечить підвищену електропровідність кінцевої зони і високу термостійкість ротора. Завдяки цьому заходу у поєднанні з підвищеним натягом значно знизиться вірогідність появи електроерозії в місцях посадки бандажних кілець на бочку ротора [1, 2].

Для забезпечення надійної роботи генератора, особливо в літній час, слід замінити теплообмінники системи водяного охолодження обмотки статора на теплообмінники з більшою тепловідвідною здатністю. Крім того, нові теплообмінники більш присовані до роботи з водою, що охолоджує, містить велику кількість домішок.

З метою підвищення надійності генератор слід оснащати приладами без-

перервного контролю питомого електричного опору дистилляту, що охолоджує обмотку статора, і величини відносної вологості водню в корпусі генератора. У результаті реконструкції номінальну потужність турбогенератора підвищено до 225 МВт, $\cos\varphi=0,85$ при незмінних надлишковому тиску водню в корпусі генератора 0,3 МПа і температурі води, що охолоджує, на вході в газоохолоджувачі 33 °С. Максимально допустиме тривале навантаження 247,5 МВт, з $\cos\varphi=0,85$ при надлишковому тиску водню 0,4 МПа і температурі води, що охолоджує, 20 °С. Діаграму допустимих навантажень реконструйованого генератора представлено на рис. 2.

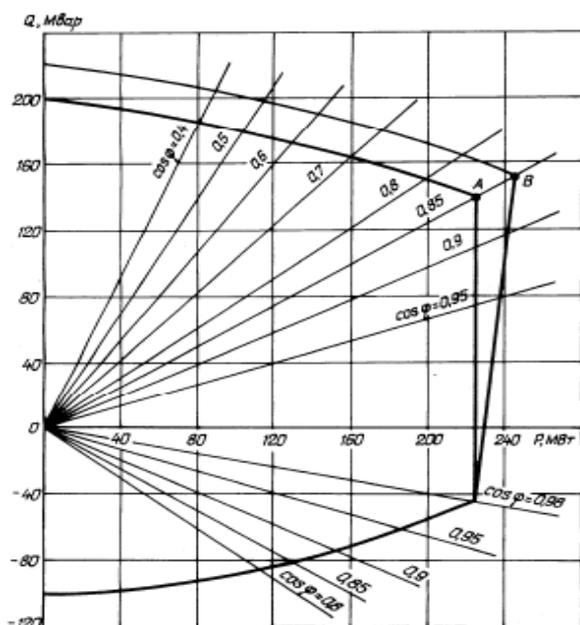


Рис. 2. Діаграма допустимих навантажень турбогенератора ТГВ-200М (р)

Допустимі симетричні і несиметричні перенавантаження віднесені до нової номінальної потужності. Допустимий асинхронний режим при втраті збудження і тривало допустимий струм зворотної послідовності також збільшено пропорційно зростанню номінальної потужності. Таким чином, завдяки тому, що інтенсифікацію охолодження турбогенератора при підвищенні номінальної потужності було досягнуто без додаткових витрат електроенергії, а також унаслідок збільшення поперечного перерізу міді обмотки статора, коефіцієнт корисної дії реконструйованого генератора вище, ніж у базового. Реальний коефіцієнт корисної дії реконструйованого генератора матиме вище значення, оскільки робоча температура обмотки ротора значно нижче допустимої, внаслідок чого втрати на збудження знизяться.

Науковий керівник канд. техн. наук Стрельчук Р.М.

Список літератури: 1. Объемы и нормы испытаний электрооборудования. РД34.4551.300.97. – М: ЭНАС, 1998. 2. Алексеев Б.А. Определение состояний (диагностика) крупных турбогенераторов. – М.: ЭНАС, 2001. 3. Назояин А.Л., Поляков В.И. Управление развитием дефектов на работающем генераторе // Электрические станции. – 2006. – № 1. – С. 49–52. 4. Патент 2113754 РФ. Способ контроля прессовки сердечника статора электрической машины. А.В. Григорьев, В.Н. Осотов, Д.А. Ямпольский // Открытия. Изобретения. – 1998. – № 17.

3. ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 33.330.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Бенин Е.Ю.

(ООО “Научно-производственное объединение “Свет шахтера”, г. Харьков)

Substantiated conditions increase the economic efficiency of industrial enterprises of new technologies

Введение. За последнее десятилетие в металлообработке произошли существенные изменения – на смену устаревшим конструкциям режущих лезвийных инструментов пришли прогрессивные высокоэффективные сборные конструкции твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства. Это позволило поднять уровень качества и производительности обработки и выйти на создание конкурентоспособной машиностроительной продукции. Вместе с тем, чрезвычайно высокие цены импортных инструментов приводят к повышению себестоимости обработки, что не всегда экономически приемлемо для производства. Поэтому актуальна проблема экономического обоснования условий эффективного применения импортных инструментов в металлообработке на предприятиях Украины.

Анализ последних исследований и публикаций. Традиционно выбор наиболее эффективных технологических процессов обработки деталей машин производится на основе сравнения нескольких вариантов технологического процесса по критерию себестоимости [1 - 3]. Однако, такой подход носит частный характер для конкретных условий обработки и не охватывает все возможные варианты технологического процесса. Поэтому в работах [4, 5] показаны возможности общего подхода к решению данной проблемы на основе аналитического описания с единых позиций и анализа основных статей затрат производства, связанных с заработной платой рабочих, расходом режущих инструментов и электроэнергии при металлообработке. Это позволяет аналитически увязать между собой параметры, определяющие статьи затрат, и произвести оптимизацию условий обработки по критерию наименьшей себестоимости. Данный подход основан на соединении экономических и технологических знаний. Поэтому, используя его, можно научно обоснованно подойти к решению рассматриваемой в работе проблемы эффективного применения (с точки зрения снижения себестоимости обработки) дорогостоящих импортных инструментов.

Цель работы – экономическое обоснование наиболее перспективных направлений эффективного использования на машиностроительных предприятиях Украины дорогостоящих импортных режущих инструментов.

Изложение основного материала. В работе [6] приведено теоретическое решение об определении себестоимости обработки C при продольном точении для двух основных изменяющихся статей затрат, включающих затраты по заработной плате рабочего за обработку партии деталей и затраты на режущий инструмент. С учетом зависимости для определения стойкости инструмента

$T = \frac{C_4}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}$ [6] себестоимость обработки C аналитически выражается:

$$C = \frac{\alpha_1}{Q} + \alpha_2 \cdot \frac{Q^{m_1-1}}{S^{m_1-p} \cdot t^{m_1-q}}, \quad (1)$$

где $\alpha_1 = N \cdot \mathcal{G} \cdot S_{\text{час}} \cdot k$; $\alpha_2 = N \cdot \frac{\mathcal{G} \cdot \mathcal{C}}{C_4}$; N – количество обрабатываемых деталей;

\mathcal{G} – объем металла, снимаемого с одной обрабатываемой детали, м³; $S_{\text{час}}$ – тарифная ставка рабочего, грн/час; k – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего; \mathcal{C} – цена режущего инструмента, грн.; $Q = V \cdot t \cdot S$ – производительность обработки (при продольном точении), м³/мин; V – скорость резания, м/мин; t – глубина резания, м; S – подача, м/об.; C_4, m_1, q, p – постоянные для определенных условий обработки.

Подчиняя функцию C необходимому условию экстремума: $C'_Q = 0$, определена экстремальная производительность обработки $Q = Q_{\text{экстр}}$:

$$Q_{\text{экстр}} = \left[\frac{S_{\text{час}} \cdot k \cdot C_4}{\mathcal{C} \cdot (m_1 - 1)} \cdot S^{m_1-p} \cdot t^{m_1-q} \right]^{\frac{1}{m_1}}. \quad (2)$$

В точке минимума себестоимости обработки C скорость резания V , стойкость инструмента T и соответственно C принимают экстремальные значения:

$$V_{\text{экстр}} = \frac{Q_{\text{экстр}}}{S \cdot t} = \left[\frac{S_{\text{час}} \cdot k \cdot C_4}{\mathcal{C} \cdot (m_1 - 1)} \right]^{\frac{1}{m_1}} \cdot \frac{1}{S^{\frac{p}{m_1}} \cdot t^{\frac{q}{m_1}}}; \quad (3)$$

$$T_{\text{экстр}} = \frac{\mathcal{C} \cdot (m_1 - 1)}{S_{\text{час}} \cdot k}; \quad (4)$$

$$C_{\text{min}} = \frac{N \cdot \mathcal{G} \cdot S_{\text{час}} \cdot k}{Q_{\text{экстр}}} \cdot \left[1 + \frac{1}{(m_1 - 1)} \right] = \frac{N \cdot \mathcal{G} \cdot \mathcal{C}^{\frac{1}{m_1}} \cdot (S_{\text{час}} \cdot k)^{1 - \frac{1}{m_1}}}{C_4^{\frac{1}{m_1}} \cdot S^{\frac{1-p}{m_1}} \cdot t^{\frac{1-q}{m_1}}} \cdot \frac{m_1}{(m_1 - 1)^{1 - \frac{1}{m_1}}}. \quad (5)$$

На рис. 1 [6] показаны примерные графики изменения себестоимости обработки C , иллюстрирующие приведенное выше решение. Как видно, себестоимость обработки C с увеличением производительности обработки Q изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума (рис. 1,б). С

уменьшением безразмерного параметра m_1 , определяющего стойкость режущего инструмента, минимум себестоимости обработки C_{min} уменьшается и смещается в область больших значений скорости резания V (рис. 1,а) и соответственно производительности обработки Q . Следовательно, применение импортных твердосплавных инструментов, характеризующихся меньшими значениями $m_1 = 2 \dots 3$ (для отечественных твердосплавных $m_1 = 5 \dots 8$), позволяет уменьшить C_{min} и увеличить экстремальное значение производительности обработки $Q_{экстр}$ (рис. 1,б). Однако данная закономерность справедлива при одинаковой цене отечественного и импортного инструментов. В действительности, стоимость импортного инструмента значительно выше, чем отечественного инструмента, что приводит к увеличению C_{min} и уменьшению $Q_{экстр}$. Поэтому важно изыскать возможности повышения экономической эффективности обработки от применения дорогостоящих импортных инструментов. Для этого проведем более детальный анализ приведенного выше теоретического решения.

Из зависимости (4) следует, что экстремальное значение стойкости инструмента $T_{экстр}$ определяется экономическими (C , $S_{час}$) и технологическим (m_1) параметрами. Чем больше C и меньше $S_{час}$, тем больше $T_{экстр}$ и, согласно зависимостям (2) и (3), меньше $Q_{экстр}$ и скорость резания $V_{экстр}$ (для заданных значений подачи S и глубины резания t). Исходя из зависимости (5), с уменьшением величин C и $S_{час}$ значения C_{min} уменьшаются. Из этого вытекает, что в экономически развитых странах, характеризующихся увеличенными значениями тарифной ставки рабочего $S_{час}$, эффективно металлообработку вести с увеличенной скоростью резания V , реализуя условие высокоскоростного резания. В условиях отечественного производства с целью снижения себестоимости обработки C_{min} необходимо уменьшать скорость резания V , обеспечивая заданную производительность обработки за счет увеличения подачи S и глубины резания t . Этим показано, что в условиях машиностроительного производства Украины для увеличения стойкости инструмента $T_{экстр}$ необходимо в большей степени использовать его ресурс, обеспечивая повышенный износ и степень затупления инструмента. Однако, как известно, это ведет к повышению сил и температуры резания и снижению качества обрабатываемых деталей, что неэффективно. Поэтому в данных условиях важно изыскать возможности увеличения скорости резания V .

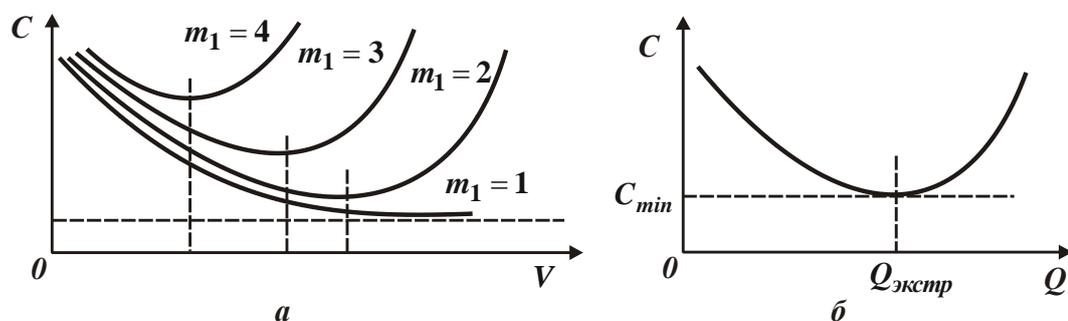


Рис. 1. Общий вид зависимости себестоимости обработки C от скорости резания V (а) и производительности обработки Q (б)

В связи с этим сравним себестоимость обработки C для двух значений $S_{\text{чac1}}$ и $S_{\text{чac2}}$, отличающихся, например, в 10 раз для заданной производительности обработки $Q_{\text{экстр2}}$ (рис. 2). В точках экстремумов себестоимость обработки C_{min} описывается зависимостью (5), рассматривая в ней вместо параметра $S_{\text{чac}}$ соответственно параметры $S_{\text{чac1}}$ и $S_{\text{чac2}}$, а вместо коэффициента k соответственно коэффициенты k_1 и k_2 . Значение себестоимости обработки C в точке $Q_{\text{экстр2}}$, расположенной на правой ветви экстремальной зависимости $C - Q$ (позиция 1 на рис. 2), описывается преобразованной зависимостью (1):

$$C = \frac{N \cdot \mathcal{G}}{Q_{\text{экстр2}}} \cdot \left[S_{\text{чac1}} \cdot k_1 + \frac{S_{\text{чac2}} \cdot k_2}{(m_1 - 1)} \right]. \quad (6)$$

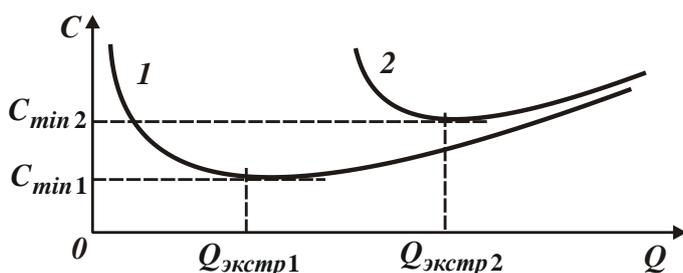


Рис. 2. Зависимость C от Q

Из зависимости (6) следует, что с увеличением коэффициента k_1 первое слагаемое увеличивается, а это ведет к увеличению $C \rightarrow C_{\text{min2}}$, а также к выполнению условия $C_{\text{min1}} \rightarrow C_{\text{min2}}$. При этом уменьшается стойкость инструмента $T_{\text{экстр}}$ в соответствии с зави-

симостью (4) и увеличиваются скорость резания и производительность обработки $Q_{\text{экстр1}} \rightarrow Q_{\text{экстр2}}$. Естественно, это нивелирует эффект снижения себестоимости обработки C . Поэтому чем меньше коэффициент k_1 , тем меньше C_{min1} и экономичнее технологический процесс обработки деталей.

Для $m_1=2$ в точке $Q_{\text{экстр2}}$ отношение C_{min2}/C , определяемое с учетом зависимостей (5) и (6) при условии $k_1 = k_2$, равно 1,8, а для $m_1=4$ и $m_1=7$ соответственно равно 3,1 и 4,3. Таким образом, расчетные значения C в точке $Q_{\text{экстр2}}$ всегда меньше значения C_{min2} . Из этого вытекает, что с экономической точки зрения в условиях машиностроительного производства Украины, характеризующегося меньшими значениями $S_{\text{чac1}} < S_{\text{чac2}}$, можно металлообработку вести с той же производительностью $Q_{\text{экстр2}}$, что и в случае $S_{\text{чac1}} = S_{\text{чac2}}$. Это не приведет к превышению себестоимости обработки C значения C_{min2} . Однако при этом увеличится себестоимость обработки C по сравнению с экстремальным значением C_{min1} (рис. 2), что для определенных условий обработки вполне допустимо. С учетом различной цены инструмента в двух рассматриваемых случаях (C_1 и C_2) зависимость (6) выразится:

$$C = \frac{N \cdot \mathcal{G}}{Q_{\text{экстр2}}} \cdot \left[S_{\text{чac1}} \cdot k_1 + \frac{S_{\text{чac2}} \cdot k_2}{(m_1 - 1)} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right]. \quad (7)$$

В случае $C_1 > C_2$ себестоимость обработки C в точке $Q_{\text{экстр2}}$ увеличится и при определенном значении C_1 может превысить значение C_{min2} . Поэтому в данном случае экономически неэффективно обработку вести с производительностью $Q_{\text{экстр2}}$. Она должна быть меньше и соответственно меньше скорость ре-

зания, т.е. необходимо “уходить” от высокоскоростной обработки в область традиционной обработки. Поэтому приобретать инструменты зарубежного производства необходимо по цене, близкой или равной цене фирмы-производителя. Приобретение же инструментов у фирм-посредников по завышенным ценам нивелирует экономический эффект от применения новых прогрессивных инструментов. Этим, собственно, и объясняется низкая эффективность применения на машиностроительных предприятиях Украины импортных весьма перспективных инструментов, которые из-за высокой стоимости приходится эксплуатировать на станке с меньшей скоростью резания и соответственно меньшей производительностью обработки, чем это предусмотрено рекомендациями фирмы-производителя инструмента. В результате не используются высокие технологические возможности указанных инструментов.

Таким образом показано, что применение на машиностроительных предприятиях Украины зарубежных высокопроизводительных режущих инструментов в связи с уменьшением часовой тарифной ставки рабочего позволяет снизить себестоимость обработки и тем самым повысить конкурентоспособность производимой в Украине машиностроительной продукции по сравнению с аналогичной продукцией, производимой за рубежом. Однако это возможно при условии, что цена приобретаемого инструмента будет такая же, как и у зарубежной фирмы-производителя инструмента. Для этого необходимо инструменты приобретать непосредственно у фирмы-производителя, минуя посреднические структуры.

Приведенное выше теоретическое решение прошло практическую апробацию на ряде машиностроительных предприятий. Так, экспериментально установлено, что обработку деталей твердосплавными режущими инструментами с износостойкими покрытиями зарубежного производства (резцами, фрезами и т.д.) эффективно производить со скоростями резания, которые ниже рекомендуемых фирмами-изготовителями инструментов. Это связано, в первую очередь, с необходимостью снижения себестоимости обработки, т.к. в противном случае оказывается экономически необоснованным приобретение дорогостоящих импортных инструментов. Поэтому в дальнейших исследованиях важно на основе приведенных выше решений определить оптимальные режимы резания (с точки зрения наименьшей себестоимости обработки), а также оптимальные цены импортных режущих инструментов, при которых возможен экономический эффект от их применения на машиностроительных предприятиях Украины.

Выводы. Применение прогрессивных высокопроизводительных сборных твердосплавных режущих инструментов с износостойкими покрытиями зарубежного производства, характеризующихся чрезвычайно высокими режущими свойствами, в связи с их высокой стоимостью в Украине приводит к увеличению себестоимости и снижению производительности обработки, что при определенных условиях лишает их преимуществ по сравнению с применяемыми на практике устаревшими конструкциями отечественных твердосплавных режущих инструментов.

При условии приобретения режущих инструментов зарубежного производства по цене фирмы-изготовителя появляется возможность их экономически эффективного применения на машиностроительных предприятиях Украины. При этом себестоимость обработки ниже, чем у зарубежной фирмы-изготовителя инструментов, т.к. в Украине тарифная ставка рабочего меньше, чем в экономически развитых странах. Это позволяет эффективно использовать инструменты как в условиях обычного, так и высокоскоростного резания.

Список литературы: 1. Мякота В. Себестоимость продукции от выпуска до реализации / В. Мякота, Т. Войтенко. – Харьков: Фактор, 2007. – 288 с. 2. Тімонін О.М. Технічне переозброєння підприємства на основі концепції маркетингу: Монографія / О.М. Тімонін, К.В. Ларіна. – Харків: ВД “ІНЖЕК”, 2008. – 256 с. 3. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 4. Новіков Ф.В. Оцінка економічної ефективності технологічних процесів обробки деталей / Ф.В. Новіков, Ю.В. Шкурупій // Економіка розвитку. Науковий журнал. – Харків: ХНЕУ. – №1 (57). – березень 2011. – С. 22-24. 5. Новиков Ф.В. Определение оптимальных условий механической обработки деталей машин по критерию наименьшей себестоимости / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, Е.Ю. Бенин // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ДВНЗ “Приазов. держ. техн. ун-т”, 2012. – №1 (24). – 2012. – С. 241-247. 6. Жовтобрюх В. О. Підвищення ефективності механічної обробки деталей гідравлічних систем шляхом вибору раціональних параметрів операцій по критерию собівартості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / В. О. Жовтобрюх. – Маріуполь, 2013. – 21 с.

УДК 33.330.3

МЕТОДИКА ИНВЕСТИЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕООРУЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Новиков Д.Ф., студент 2 года магистратуры
(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца)

The methodology of investment planning technical upgrading of the industrial enterprise. Practical recommendations

За последнее десятилетие отечественная промышленность пережила возрождение после долгого застоя. Предприятия начали получать огромные заказы, заработная плата работников увеличивается, постоянно ведется набор новых сотрудников, обновляются производственные мощности, внедряются новые технологии. Все это позволило выйти отечественным предприятиям на мировые рынки и успешно там конкурировать. Успехом такого возрождения послужили эффективные решения руководства предприятий.

Одно из главных решений – систематическое обновление производственных мощностей, т.е. техническое перевооружение. На данный момент каждое предприятие, которое успешно работает на рынке, имеет определенное коли-

чество современного оборудования и металлорежущего инструментов.

В научной литературе имеется множество работ, посвященных анализу эффективности применения современного оборудования. Пономаренко В.С., Гринева В.Н., Новикова В.М. в своих работах [1, 3] приводят углубленный анализ экономической эффективности проведения технического перевооружения на предприятии. В основном в работах, посвященных данной проблеме, показана целесообразность проведения технического перевооружения. Если проанализировать литературу о методах проведения данного мероприятия, то оказывается, что нет четких рекомендаций, как планировать это направление деятельности.

На основании необходимости четких методических указаний планирования технического перевооружения, была разработана методика, основанная на методе бизнес-планирования. Предложенная методика имеет организационный характер и направлена на то, чтобы перед началом практического внедрения нового оборудования иметь четкий план действий.

Основной задачей методики является создание команды специалистов разных направлений деятельности, включающей экономиста, финансиста, технолога, механика, программиста, психолога-педагога, нормировщика, инженера, экономического аналитика. Скоординированная деятельность этих специалистов позволит учесть всевозможные процессы, которые будут происходить во время внедрения нового оборудования.

Весь процесс планирования можно разделить на 4 этапа. В каждом этапе имеются определенные подэтапы, которые взаимосвязаны между собой и требуют очередного выполнения.

Первый этап – аналитический, призван создать команду для планирования и проанализировать целесообразность проведения технического перевооружения, имеющиеся средства у предприятия и объекты модернизации. Выполнением первого этапа методики занимаются: экономический аналитик, финансист и экономист.

Анализ целесообразности проведения технического перевооружения включает: анализ внешней среды и конкурентоспособность продукции. Анализ внешней среды показывает наличие льгот, государственных заказов, имиджа предприятия, расширения сотрудничества с поставщиками, возможностей выхода на мировой рынок, повышения уровня конкуренции на рынке, изучения ситуации на рынке труда в регионе, и другие вопросы, характерные для конкретной отрасли, региона, предприятия.

После анализа целесообразности проведения технического перевооружения и принятия положительного решения необходимо провести финансовый анализ предприятия. Данный анализ показывает наличие средств у предприятия, источники финансирования мероприятия и возможные риски с финансированием. На основании выводов о финансовом состоянии предприятия выбирается объект модернизации. Объектом может быть как цех в целом, отдельный участок или отдельное оборудование. Этот выбор основывается на имеющихся

средствах у предприятия и технико-экономической необходимостью. После выполнения всех поставленных по организации команды и проведении аналитических работ, первый этап завершен.

Второй этап предусматривает выбор необходимого оборудования, написания маршрутных карт и подбор инструментов. Оборудование выбирается технологом и механиком для обработки конкретных деталей с учетом минимизации стоимости, максимизации технических характеристик и максимизации конкурентоспособности поставщика. Для эффективного выбора по данным критериям был предложен показатель – коэффициент станка:

$$K_{\text{станка}} = \frac{K_{\text{техн}}}{K_{\text{цена}}} \times K_{\text{поставщика}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{техн}}$ - обобщенный коэффициент технических характеристик оборудования; $K_{\text{цена}}$ - коэффициент цены на оборудование; $K_{\text{поставщика}}$ - коэффициент предприятия-поставщика.

Выбрав оборудование с максимальной величиной коэффициента, производится разработка маршрутной карты, в которой технолог описывает последовательность операций по обработке каждой детали. На основании выбранного оборудования и маршрутной карты обработки детали производится подбор металлорежущих инструментов. Инструменты выбираются на основании коэффициента инструментов, который состоит из таких же множителей, как и в коэффициенте станка. Второй этап выполняется технологом и механиком.

Третий этап методики является организационным и призван спланировать мероприятия, которые позволят в минимальные сроки после доставки оборудования на предприятие, установить его и запустить.

В начале третьего этапа необходимо произвести написание технологических процессов и определение оптимальных режимов резания. Технологический процесс составляется на основании маршрутной карты и подобранного инструмента. С помощью данных из маршрутной карты и особенностей нового оборудования определяются режимы резания, которые необходимо основывать на минимизации себестоимости процесса обработки. Проведением этих двух работ занимаются технолог и нормировщик.

Разработав технологический процесс с указанными режимами резания, необходимо написать программный код управляющей программы для нового оборудования. Написанием управляющей программы занимается программист со знанием G M языка программирования.

В связи с тем, что процесс управления новым оборудованием заключается в корректировке программного кода, оператор станка, наладчик, мастер и электрик должны понимать программирование и устройство оборудования. С целью повышения квалификации или полного обучения организуется соответствующее мероприятие. В результате этого мероприятия подбираются кандидаты на обучение, составляется обучения и планируется расписание. Планированием данного мероприятия занимается педагог-психолог.

Параллельно с написанием технологического процесса, планирования обучения персонала и написания управляющей программы, происходит разработка пуско-наладочных работ. В рамках данного мероприятия определяется место, где будет расположено новое оборудование, составляется план работ по установке, подключению и настройке оборудования. Выполнением данного мероприятия занимаются технолог, инженер и механик.

После составления технологического процесса изготовления детали производится планирование загрузки каждой новой единицы оборудования. Партии деталей разбиваются на минимальные передаточные партии и, согласно составленному графику, запускаются в обработку. Выполнением данного мероприятия занимается экономист. Проведя написание программного кода управляющей программы и технологического процесса обработки детали, экономист и нормировщик составляют калькуляцию себестоимости каждой детали.

На основании имеющегося технологического процесса и плана загрузки оборудования экономистом составляется план закупки и поставки металлорежущих инструментов. Последним выполнением всех мероприятий по третьему этапу является составление документации каждым ответственным специалистом. Это призвано зафиксировать все рабочие записи во избежание их потери к моменту доставки оборудования.

Последним этапом предложенной методики является оформление коммерческого предложения или служебной записки для руководства предприятия. В этом документе необходимо отобразить обобщенные данные о проекте и потенциальных результатах его выполнения. Для определения результатов по всему проекту, экономистом просчитывается экономический эффект. На основании составленного документа руководитель предприятия или уполномоченное им лицо принимает решение о реализации проекта.

В результате такого планирования принимающее лицо будет знать до момента принятия решения о проведении технического перевооружения определенного объекта о его эффективности и целесообразности. Это позволит в значительной степени уменьшить количество принимаемых решений о проведении технического перевооружения неэффективных объектов. Так же детальное планирование позволит в процессе практического внедрения оборудования уменьшить количество возникших проблем и тем самым уменьшить реальную стоимость всего проекта.

Список литературы: 1. Гриньова В.М. Процесс підготовки реструктуризації підприємств машинобудування: організація управління: монографія / В.М. Гриньова, М.В. Новікова. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 240 с. 2. Новиков Д.Ф. Повышение конкурентоспособности машиностроительной продукции на основе снижения себестоимости обработки / Д.Ф. Новиков, А.К. Осипцева А.К. // Физические и компьютерные технологии. Труды 19-й Международной научно-практической конференции, 25-26 июня 2014 г. – Харьков: ГП ХМЗ “ФЭД”, 2014. 157-159 с. 3. Економічні та соціальні аспекти управління інвестиційною діяльністю: монографія / В.С. Пономаренко, В.М. Гриньова, Н.М. Лисиця та ін. – Харків: вид. ХДЕУ, 2003. – 180 с.

ВЛИЯНИЕ КУРСА ВАЛЮТ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

Оспищева А.К., студентка 2 года магистратуры
(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца)

The technique of determining cost-effective machining conditions, taking into account changes in exchange rates

В последнее десятилетие отечественная промышленность начала восстанавливаться, опираясь на имеющийся огромный советский опыт и производственные мощности. Для возможности выйти на мировой уровень производительности и качества предприятия массово проводят модернизацию мощностей. Одно из необходимых условий модернизации – применение современных металлорежущих инструментов. В связи со слабо развитым отечественным рынком производства инструментов многие предприятия приобретают инструмент зарубежного производства.

Зарубежный инструмент показал свою эффективность по сравнению с отечественным инструментом. Благодаря его использованию в значительной степени удалось уменьшить трудоемкость обработки деталей (вспомогательное и подготовительно-заключительное время) и затраты на приобретение инструмента. Вместе с тем, недостаточные знания технологических возможностей зарубежных инструментов ограничивает его широкое применение. Так, многие технологи на предприятиях при определении режимов резания и других параметров обработки опираются на опыт применения советского инструмента и используют справочники, разработанные для этих инструментов. Поэтому, применяя рекомендуемые условия металлообработки для отечественного инструмента, предприятия получают экономический эффект, который является лишь небольшой частью от максимально возможного [1].

Основными критериями при расчете режимов резания являются: максимальная точность, качество обработки, минимальное время обработки. Применение этих критериев было целесообразно при планово-административной экономике, когда необходимо было выполнить как можно быстрее установленный план, не обращая внимания на затраты предприятия при этом. В современной рыночной экономике главным фактором производства выступает себестоимость изготовления продукции и поэтому рассмотрение экономических факторов при расчете режимов резания является необходимым. Однако вследствие того, что на предприятиях технологи, мастера, наладчики и рабочие рассматривают экономические вопросы не во взаимосвязи с производственными вопросами, себестоимость выпускаемой продукции потенциально завышена.

С приходом на украинский рынки зарубежного режущего инструмента

некоторые инжиниринговые предприятия совместно с учеными начали исследовать влияние условий применения нового инструмента на экономические результаты промышленных предприятий. В итоге разработана методика определения стойкости инструмента с учетом минимальной себестоимости обработки отдельной операции. На основании определения стойкости инструмента определяются режимы резания и другие параметры обработки.

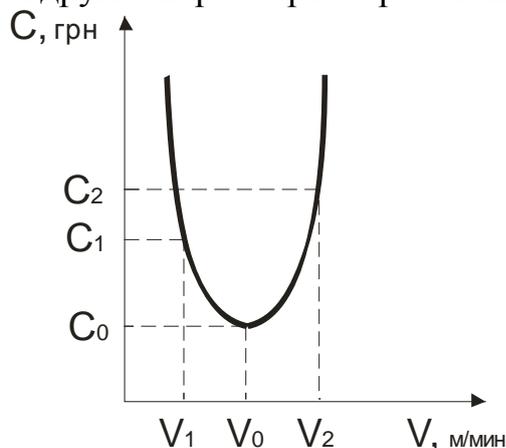


Рис. 1. Характер изменения себестоимости обработки

В процессе исследований было выявлено, что себестоимость обработки при изменении скорости резания представляет собой кривую в виде параболы (рис. 1), причем для каждого инструмента характер изменения себестоимости обработки разный [2].

В условиях резкого скачка курса валют себестоимость продукции увеличивается за счет увеличения затрат на импортный инструмент и импортное сырье. Уровень роста себестоимости зависит от величины импорта в структуре товара.

Увеличение затрат на инструменты влияет на технологическую себестоимость продукции (затраты на заработную плату основных рабочих и социальные отчисления, затраты на инструменты и электроэнергию для технологических нужд). Затраты на электроэнергию ниже других статей затрат, поэтому ими при расчетах технологической себестоимости можно пренебречь.

Таблица 1

Технологическая себестоимость 100 нормо-часов обработки деталей, грн.

Курс доллара США	Затраты на заработную плату основных рабочих	Затраты на социальные отчисления основных рабочих	Затраты на державку	Затраты на СМП	Всего
8,10	1450,00	543,75	200,07	874,80	3068,62
17,00	1450,00	543,75	419,90	1836,00	4249,65

В табл. 1 приведены основные затраты, составляющие технологическую себестоимость 100 нормо-часов производства одного вида деталей при одина-

ковых режимах резания, но разных курсах валют. В расчетах используется: часовая заработная ставка рабочего – 14,5 грн., социальные отчисления – 37,5% от размера заработной платы, стоимость 1 режущей кромки сменной металлорежущей пластины (СМП) – 2,7 доллара США, стоимость державки – 247 долларов США (стойкость – 400 кромок СМП). Стойкость 1 режущей кромки СМП – 2,5 часа.

Из расчетов, приведенных в табл. 1, видно, что при увеличении курса валют на 109,8%, технологическая себестоимость 100 нормо-часов увеличилась на 38,5%. Если же исходить из того, что технологическая себестоимость представляет собой 32% полной себестоимости, то увеличение полной себестоимости производства детали произошло на 12,32%.

На рынке с высокой конкуренцией повышение себестоимости изготовления детали на 12,32% приводит к тому, что выпускаемая продукция неконкурентоспособна. В результате предприятие-производитель несет убытки.

В табл. 2 приведены результаты расчетов технологической себестоимости 100 нормо-часов обработки деталей с учетом применения предложенной методики для тех же исходных данных, которые приведены в табл. 1. Стойкость сменной металлорежущей пластины (СМП) с применением новых режимов резания составляет 5,5 часа.

Таблица 2

Технологическая себестоимость 100 нормо-часов обработки деталей, грн.

Курс доллара США	Стойкость инструмента, час	Затраты на заработную плату основных рабочих	Затраты на социальные отчисления основных рабочих	Затраты на державку	Затраты на СМП	Всего
8,10	2,5	1450,00	543,75	200,07	874,80	3068,62
17,00	5,5	1450,00	543,75	191,05	835,38	3020,18

Из табл. 2 видно, что за счет применения новой методики расчета режимов резания с учетом изменения курса валют удалось снизить на 1,6% технологическую себестоимость при неизменной производительности обработки. Результатом снижения на 1,6% технологической себестоимости стало некорректное установление режимов резания технологами предприятия.

Список литературы: 1. Новиков Д.Ф. Инвестиционная деятельность при модернизации машиностроительных предприятий / Д.Ф. Новиков // Труды 19-й Международной научно-практической конференции “Физические и компьютерные технологии”. – Харьков: ГП ХМЗ “ФЭД”, 2014. – С. 153-156. 2. Новиков Д.Ф. Уменьшение себестоимости производства изделий путем применения новых технологий металлообработки / Д.Ф. Новиков, А.К. Оспищева // Современная наука: проблемы, инновации, решения: материалы междунар. научн.-практ. конф. (Курск, 27-28 февраля 2014 года), Курский институт социального образования (филиал) РГСУ, Инженерно-технический факультет. – Курск: ООО “Учитель”, 2014. – С. 52-55.

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Гусарев В.С., канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения
Одесского национального политехнического университета

ПОРТРЕТЫ ОСНОВОПОЛОЖНИКОВ НАУКИ «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

История галереи «портретов» технологов машиностроителей

Шел 1966 год. В Одессе кафедра «Технологии машиностроения» готовилась к проведению Всесоюзной технологической конференции. Ее организатором был заведующий кафедрой профессор Андрей Александрович Маталин. У него появилась идея сделать галерею портретов корифеев технологической науки на кафедре.

«Предполагаемым главным участникам конференции будет приятно увидеть себя в галерее провинциального ВУЗа».

Андрей Александрович поручил мне организовать розыск соответствующих фото. Справедливости ради, надо сказать, мы с ним разделили список на две части. Решили, что часть фото он выпросит сам у тех, кого он близко знал, а другую часть должен был раздобыть я.

В первую часть списка попали:

А.П. Соколовский,
А.И. Исаев,
С.П. Митрофанов,
А.Б. Яхин,
В.М. Кован.

Вторая часть, которая досталась мне, включала:

Б.С. Балакшин,
А.И. Каширин,
В.С. Корсаков,
В.И. Дикушин,
А.П. Владзиевский,
С.И. Артоболевский,
Ф.С. Демьянюк,
Э.А. Сатель,
Г.А. Шаумян,
Л.Н. Кошкин.

Тогда из маленьких фото в ателье сделали большие портреты, которые вывесили в кабинете проектирования. В 1972 году, уезжая на работу в Ленинград, А.А. Маталин забрал портреты с собой. У меня сохранились малоформатные фото. С назначением на должность заведующим кафедрой профессора П.А. Линчевского из этих фото решили сделать планшет. Многие гости – диссертанты кафедры – рассматривая планшет, интересуются: **“Кто эти люди?”**

На этот вопрос в данной работе и предпринята попытка найти ответ. Однако, это оказалось чрезвычайно трудно даже при всей мощи интернета и вездесущих поисковиков. Тем не менее, открытие получилось, и это при том, что многие из этих людей были весьма известны. Составитель пытается внести скромный вклад в «историю галереи портретов», которая сохраняется на кафедре «Технология машиностроения» ОПИ – ОНПУ.

В.С. Гусарев

СОКОЛОВСКИЙ Александр Павлович



Доктор технических наук, профессор - первый среди великих технологов, один из основателей отечественной науки «Технология машиностроения».

«Сверхскромная информация о создателе отечественной школы технологии машиностроения с определенного момента, как и другие сведения об отце-основателе ТМ, мистически исчезла практически из всей специальной литературы. Максимум из того, что можно встретить - это попадание в алфавитное перечисление ученых-машиностроителей и постоянное цитирование *«...Учение о технологии родилось в цехе и не должно прерывать с ним связи...»*, иногда

забывая окончание фразы *«...в противном случае работа технолога станет академической и бесплодной...»*. Даже на сайте родного Санкт-Петербургского государственного политехнического университета количество информации мизерно. Всезнающий «Google» максимум, чем может помочь, так это ссылками на литературное наследие классика, после знакомства с которым приходишь к выводу, что именно труды **профессора А. П. Соколовского** являются тем самым фундаментом, на котором базируется ТМ».

В 1890 году в семье потомственного дворянина, статского советника, служащего Императорской библиотеки (Санкт-Петербург) Павла Александровича Соколовского родился мальчик, которого нарекли Александром в честь деда. Ко времени окончания гимназии умер отец (1906), и выбор института для получения высшего образования лег на плечи Саши. Он выбрал Петербургский политехнический институт, в который поступил в 1907 году на Кораблестроительный факультет. Выбор именно этого факультета определялся патриотическим ответом молодежи на поражение российского флота в Цусиме, после чего в России был принят декрет о строительстве нового и совершенного флота. Выбор специальности корабеля был очевиден. Окончил в 1911 году, получив диплом корабельного инженера-механика. В те давние годы инженеры обладали знаниями не только в своей узкой области, но имели широкую многогранную подготовку и обязательно практический опыт. Петербургский политехнический

институт давал именно такую научно-техническую инженерную подготовку. Молодой инженер А. П. Соколовский уже в 1914 году конструировал морские мины и минные аппараты. Дальше судьба заставляет менять места работы, но обогащает жизненным и производственным опытом молодого инженера. Уже в 1920 году Соколовский А.П. проектирует паровозы для Путиловского завода, а позже – до 1922 года работает начальником технического отдела Главного морского управления. С 1922 по 1925 годы он заведует электростанцией в Рязанской губернии, в 1925–1929 годах заведует отделом оборудования завода «Электросила». В 1930 году параллельно с работой в промышленности, где руководил внедрением передовых образцов техники, он преподает в Технологическом институте курс по двигателям внутреннего сгорания.

С 1930 года до конца жизни А. П. Соколовский – профессор сначала машиностроительного института, а с 1932 года – электромеханического института, с 1933 года возглавлял кафедру технологии машиностроения Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина. Это были годы творческого подъема. Пятилетки интенсивного строительства новых промышленных предприятий. Производство требовало решения серьезных технологических задач. А. П. Соколовский собирает и обобщает, систематизирует обширный опыт машиностроительной промышленности и ищет пути создания «научных основ технологии машиностроения». Одновременно он разрабатывает программы курса и определяет направление подготовки инженерных и научных кадров этой специальности. В 1932–1935 гг. был издан труд А. П. Соколовского «Технология машиностроения» в пяти выпусках. Этот труд явился первым учебником для ВУЗов по специальности и ценным методическим материалом для производственных инженеров. В 1935(6) г. А. П. Соколовский утвержден ВАК в звании профессора по кафедре технологии машиностроения. Последующая творческая деятельность А. П. Соколовского посвящена обновлению и систематизации опыта преподавателя ВУЗа. В связи с этим в 1936 году им была сформулирована идея *типизации технологических процессов*, получившая одобрение работников машиностроительной промышленности на Всесоюзной конференции (1938), посвященной этой проблеме. На основе принципа типизации А. П. Соколовский создает новый труд «Основы технологии машиностроения» в двух томах (1938–1939).

Рассматривая конструкции различных машин, составленных из упорядоченной совокупности деталей, А. П. Соколовский выполнил классификацию деталей, как объекта технологии. Он выделил классы валов, корпусов, крышек, рычагов и т.д. Далее показал, что, например, обработка валов требует операций токарных и шлифовальных, выполняемых всегда в определенном порядке. Корпуса для обработки требуют фрезерования или строгания для плоскостей, и расточных или сверлильных операций для обработки отверстий. А. П. Соколовский указывал, что детали, относящиеся к одному классу, имеют один и тот же набор операций и должны выполняться в определенном, также типовом, порядке. Разработка технологических процессов упрощается, а четкое назначение операции позволяет организовать поточное производство. Рассматривая усло-

вия получения размеров с малыми допусками, возникла необходимость изучения *жесткости системы Станок-Приспособление-Инструмент-Деталь (СПИД), что открыло новые возможности в обеспечении точности обрабатываемых деталей.* С «легкой руки» Александра Павловича термин СПИД вошел в обращение у технологов. Годы войны: 1941 год тяжелая эвакуация коллектива сотрудников института в Пятигорск, а затем в 1942 году – в Ташкент. Здесь сосредоточились крупнейшие научные коллективы Киевского и Ленинградского политехнических институтов. В сложных условиях проходят защиты диссертаций в объединенном Ученом совете. В 1943 году проходит защита докторской диссертации: **«Вопросы жесткости в машиностроении»**, ЛПИ – Ташкент, 1943, - 354 с.: ил., библи. 347-348. Возвращение на родную кафедру. В 1946 году в издательстве «Машгиз» выходит монография «Жесткость в технологии машиностроения», а в 1949 году двухтомный учебник «Курс технологии машиностроения», в нем были рассмотрены вопросы: жесткости системы СПИД, вибраций при обработке резанием, точности настройки станков, принципы базирования. Дальнейшее развитие получила теория точности в книге «Точность механической обработки и пути ее повышения» (1951 г.) и в его последней прижизненной монографии «Расчеты точности обработки на металлорежущих станках» (1952 г.). Под руководством Александра Павловича Соколовского защитили диссертации его многочисленные ученики: В. А. Скраган, И. С. Амосов, Б. М. Богданов, В. А. Блюмберг, Ли Бен Гу, Г. Н. Молчанов, Н. Н. Панов, О. В. Романов, Э. В. Рыжов, Ю. Г. Тымчанский и др. Многие из них впоследствии стали известными профессорами и докторами наук. Он оставил потомкам богатое наследие как теоретическое, так и экспериментальное в технологии машиностроения, всегда указывал, что технологическая наука может развиваться только в тесной связи с производством и направляться, прежде всего, потребностями последнего.

Скончался Александр Павлович Соколовский в 1954 году.

БАЛАКШИН Борис Сергеевич



Выдающийся ученый-технолог, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат Ленинской премии, доктор технических наук, профессор.

Борис Сергеевич Балакшин родился 29 августа 1900 года в городе Кургане в семье русского инженера. Его отец Сергей Александрович Балакшин образование получил в Омском техническом училище и Шарлоттенбургском политехническом институте в Германии. Изобретатель гидротурбины «Балакшина», за которую получил Золотые и серебряные медали на выставках в Париже, Марселе, Стокгольме. Один из основателей, первого в Сибири, Курганского турбинного завода. Был По-

четным гражданином города Курган.

В советское время он – профессор, заведующий кафедрой Томского технологического института, исследователь, руководитель и разработчик плана ГОЭЛРО для освоения водных ресурсов Урала и Сибири. В семье два мальчика старший Борис и младший Александр (1905 г.), будущий радио- киноинженер, который построил первую в Томске радиостанцию. Борис учился в Курганской мужской гимназии, был отличником, переходил из класса в класс с наградами первой степени. Поступил на механический факультет Томского технологического института. Трудовую деятельность Борис Сергеевич начал с 19 лет на кафедре профессора Н. И. Карташова, крупного специалиста в области конструирования паровых машин и паровозов. (Николай Иванович Карташов - ректор Томского технологического института 1911–1916 г., в дальнейшем лауреат Сталинской премии). После окончания ГТИ Борис Сергеевич с 1924 года работал на руководящих инженерных должностях машиностроительных заводов Урала, а затем Самары и Нижнего Новгорода, а с 1930 по 1936 годы Б. С. Балакшин работал на Московском станкозаводе имени Серго Орджоникидзе. Он был одним из организаторов производства новых токарно-револьверных станков и многошпиндельных токарных автоматов. Для изучения зарубежного опыта и закупки станочного оборудования его командировали на машиностроительные предприятия Англии и США. С 1931 года Борис Сергеевич работал по совместительству доцентом в Московском станкостроительном институте (МосСтанкине). С 1936 года Балакшин Б. С. возглавлял технологический отдел Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС). Там он разрабатывал новые высокоэффективные типовые технологические процессы.

В 1942 году он перешел работать в МосСтанкин на должность доцента кафедры технологии машиностроения, а через год стал профессором этой кафедры. В годы войны преподаватели и сотрудники кафедры активно участвовали в создании оборонных сооружений, налаживании производства на эвакуированных заводах, выпуске военной продукции и, несмотря на тяготы военного времени, не прекращали подготовку инженеров.

В 1946 г. руководство кафедрой было поручено доктору технических наук, профессору Борису Сергеевичу Балакшину, основавшему научную школу и поныне считаемую передовой. На кафедре работали разные люди, разные по складу характера, производственному опыту и педагогическому таланту.

Профессор Л. А. Глейзер изобрел первый в мире станок с программным управлением от перфоленты (1947 г.). Профессор Д. В. Чарнко завершил важную работу по раскрытию закономерностей в структурах технологических операций.

В докторской диссертации «Основы выбора технологического процесса механической обработки» (1964 г.) Д. В. Чарнко показал, что за счет научного подхода и совершенствования структуры операций производительность технологических процессов может быть повышена в 10 раз. И. М. Колесов изучал влияние зазоров в беззазорных, но подвижных соединениях.



За глаза их называли мушкетерами (слева на право):

Большой, шумный, доброжелательный Данат Владимирович Чарнко (в прошлом главный инженер «Оргстанкинпрома») - Портос. Всегда грустный интеллигент Леонид Акимович Глейзер (крупный специалист в области шлифования) – Арамис. Мудрый, ироничный Борис Сергеевич, конечно, – Атос, и совсем не д'Артаньян – тихий, меланхоличный Игорь Михайлович Колесов. Ну, конечно, самое интересное то, что на кафедре доцентом работал кандидат наук, знаменитый футбольный рефери международного класса, обладатель «Золотого свистка» ФИФА Николай Гаврилович Латышев. Помимо успешной судейской карьеры он преподавал в МосСтанкине в 1947—1987 годах и был одним из соавторов учебника по технологии машиностроения.

-Борис Сергеевич, что(!?) у Вас Латышев рассказывает на лекции?- спрашивают иногда любопытные.

-Что (рассказывает)?!- читает лекцию!- улавливает подтекст вопроса - конечно, технологию(!), но знаю, на его лекциях бывает столько народа, что яблоку упасть некуда.

С приходом Бориса Сергеевича на кафедру коллектив круто развернулся в сторону применения средств и методов управления качеством и точностью обработки на станках методами автоматизации. Это было то загадочное время, когда новые идеи подхватывались и реализовались во многих направлениях. Поэтому обращение Бориса Сергеевича к автоматическому регулированию, а затем и к адаптивному управлению, было естественным и понятным.

Шел 1958 год. Борис Сергеевич только что вернулся из Брюсселя, где был руководителем секции машиностроения на Международной выставке ЭКСПО–58. Именно благодаря выдающимся организаторским способностям Бориса Сергеевича, представленные на выставку станки с ЧПУ получили «Гран При» ЭКСПО-58.

И вот под его руководством аспирант Л. В. Худобин создал первый в мире шлифовальный станок, оснащенный программной Системой Автоматического Регулирования (САР). Системы с обратной связью в станкостроении применялись ограничено на шлифовальных станках. На этих станках устанавливались датчики размера на деталь, и при достижении контрольного размера подавался сигнал рабочему на отключение станка. В дальнейшем отключение выполнял

сервопривод. Это весьма примитивная система «САР по отклонению» в те давние времена называлось активным контролем. Системы профессора Б.С. Балакшина построены по другому принципу – измеряется сила резания, откликом на отклонения силы является управляющее воздействие, изменяющее скорость подачи. Система САР поддерживает силу резания в узком диапазоне значений, которая коррелирует с допуском на размер детали. Деталь получалась высокой точности, однако имела переменную шероховатость, как следствие переменной скорости (подачи) движения инструмента. Этот недостаток был устранен в другой САР. В ней изменение деформирующей силы происходит за счет изменения направления вектора силы, получаемого при повороте инструмента вокруг одной из координатных осей. Третий вариант САР – это управление жесткостью системы СПИД. Исчерпав все возможные системы автоматического регулирования при обработке, «команда молодых исследователей» под руководством профессора Б.С. Балакшина перешла к исследованию систем адаптивного управления (САУ) технологическими процессами.

На кафедре технологии машиностроения МосСтанкина заработала автоматическая линия по обработке валов роторов электродвигателей. Линия выпускала продукцию высокого качества. Именно на ней отрабатывались и реализовались основные идеи профессора Б. С. Балакшина. Это направление оказалось столь эффективным, что им заинтересовалась инженерная общественность разных стран.

Идея Б. С. Балакшина получила всемирное признание. В 1972 году за исследование новых путей повышения точности и производительности обработки на станках с использованием адаптивных систем управления коллективу ученых в лице Б. С. Балакшина, Е. И. Луцкова, С. П. Протопопова, Б. М. Базрова, Ю. М. Соломенцева, В. А. Тимирязева была присуждена Ленинская премия.

Существенно расширились исследования в области (САУ) на станках разных типов. Применение этих систем на металлорежущих станках оказалось весьма эффективным. По данной проблеме было защищено свыше 40 кандидатских диссертаций, опубликованы три монографии под общим названием «Самоподнастраивающиеся станки» (1965, 1967, 1970 г.г.) и издан капитальный труд «Адаптивное управление станками» (1973 г.).

Под руководством Бориса Сергеевича в «МосСтанкине» была создана ведущая технологическая научная школа, получившая мировое признание.

Профессор Б. С. Балакшин разработал **научные основы технологии машиностроения**, изложенные в его трудах «Технология станкостроения», «Основы технологии машиностроения», «Теория и практика машиностроения» и других. Им были разработаны: **теория размерных цепей, теория базирования, общий системный подход к разработке технологических процессов сборки машин. На основе теории адаптивного управления технологическими процессами механообработки разработаны методы изготовления деталей машин на станках с ЧПУ.** На основе исследований Б.С. Балакшина и под его непосредственным руководством были подготовлены и утверждены Госстандартом ГОСТы: «Размерные цепи», «Базирование и базы в машиностроении».

Борис Сергеевич, как выдающийся ученый-технолог, пользовался большим авторитетом и уважением в стране и за рубежом. Он неоднократно представлял отечественное станкостроение на международных выставках в Брюсселе, Лейпциге, Париже. Его труды переведены на многие языки мира и изданы в Китае, Германии, Великобритании, Румынии, Венгрии, Польше.

До последних дней своей жизни Борис Сергеевич читал лекции как студентам «Станкина», так и за границей. Созданная Б. С. Балакшиным технологическая научная школа воспитала и дала путевку в жизнь тысячам инженеров-технологов, сотням научных работников в стране и за рубежом. Борис Сергеевич был депутатом Моссовета, членом пленума ВАК, членом редакционного совета издательства «Машиностроение», членом президиума Всесоюзного общества «Знание».

За плодотворную научную и педагогическую деятельность Борис Сергеевич был награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени и многими медалями. Он был удостоен званий: «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР» и «Почетный доктор-инженер Дрезденского технического университета».

Скончался Борис Сергеевич Балакшин в 1974 году в Москве. В 1983 году вышел посмертный двухтомник избранных трудов Б. С. Балакшина.

КАШИРИН Александр Иванович



Крупнейший ученый в области исследования технологии машиностроения. Доктор технических наук, профессор, первый заведующий кафедрой "Технология машиностроения" МГТУ "Станкин" (1938 - 1946), и кафедрой «Технологии механической обработки» МАТИ (1943-1953).

Родился Александр Иванович в 1891 году в крестьянской семье. Окончил городское, затем железнодорожное ремесленное училище, экстерном сдал все экзамены на аттестат зрелости. Одновременно работал на железной дороге вначале слесарем, затем – помощником машиниста паровоза и десятником службы пути.

В 1911 году поступил в Московский университет. В 1916 г. окончил с отличием Императорское Московское Техническое Училище (ныне МГТУ им. Н. Э. Баумана) по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». В 1916 г. А. И. Каширин был оставлен в ИМТУ на кафедре профессора В. И. Гриневецкого для подготовки к профессорско-преподавательской деятельности.

(В. И. Гриневецкий – выдающийся русский инженер механик и теплотехник, с 1914 года – директор ИМТУ сыграл выдающуюся роль в развитии отечественного образования, промышленности и экономики. Его коллегами или учениками были Н. Е. Жуковский, П. К. Худяков, К. А. Круг, А. И. Астров, Л. К. Рамзин, Н. Р. Брилинг и др. Вот высказывание одного из учеников Э. А. Сателя (1922 г.) «... Гриневецкий широтой ума, своими разносторонними знаниями, обаянием своей личности предназначен был стоять во главе инженерной среды, давать основные направляющие линии в той технико-экономической работе воссоздания русской промышленности...». Глубокий мыслитель, блестящий лектор, опытный инженер, образованный экономист, энергичный администратор, человек блестящей интуиции – таков был УЧИТЕЛЬ многих среди них: Э. А. Сатель, И. М. Беспрозванный и А. И. Каширин).

В 1918 г. Александр Иванович Каширин работал правительственным инспектором на заводе швейных машин компании «Зингер» в Подольске, а после национализации этого завода был членом правительственного правления этого завода. В 1919 г. был назначен заместителем председателя технического совета Главметалла ВСНХ. Работал на автомобильном заводе АМО, в 1925 г. – в «Оргметалле» на должности главного инженера по проектированию машиностроительных заводов. В 1926 г. командирован в Германию, Англию и США для изучения производства машиностроительных заводов. После возвращения в СССР под его руководством было спроектировано семь крупных машиностроительных заводов.

В тридцатые годы А. И. Каширин был главным инженером Горьковского автомобильного завода. Начиная с 1934 г. параллельно с научной деятельностью во втузах страны работал в научно-исследовательских институтах: ЭНИМС, Институте машиноведения АН СССР, НАТИ, НИАТ.

За годы многолетней практической деятельности А. И. Каширин глубоко изучил и накопил достаточно богатый материал по технологии машиностроения, что способствовало формированию его как высоко квалифицированного специалиста. Профессор А. И. Каширин опубликовал более 60 научных трудов и учебников. Наиболее значимым является его научный труд «Технология машиностроения». В книге излагаются *теоретические основы технологии машиностроения*, методы реализации технологических процессов обработки деталей машин и сборки самих машин. Другой труд «Исследование вибрации при резании металла» (М.: Изд. АН СССР, 1944). В этой работе впервые была *установлена физическая сущность процесса вибрации при резании металлов и составлены уравнения, характеризующие этот процесс*.

За исследования в этой области А. И. Каширину была присвоена ученая степень доктора технических наук.

В годы Великой Отечественной войны А. И. Каширин назначен заместителем директора Московского станкостроительного института по научной части. В дальнейшем переходит в Московский авиационный технологический институт (МАТИ), где заведует кафедрой «Технология механической обработки». С 1945 г. – заместитель председателя комиссии по качеству поверхности, пред-

седатель комитета технологии ВНИТОМАШ и председатель комитета технологии МОНИТОМАШ. Руководил секцией механической обработки Комиссии по технологии машиностроения Академии наук СССР. С 1943 г. по 1953 г. заведовал кафедрой «Технология механической обработки» МАТИ. Под научным руководством А. И. Каширина 19 инженеров выполнили и защитили диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Награжден орденами «Знак Почета» и «Трудового Красного Знамени». Скончался в Москве после тяжелой болезни в 1985 году.

САТЕЛЬ Эдуард Адамович



Выдающийся машиностроитель, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники, Герой социалистического труда, основатель и руководитель кафедры спецпроизводств в МВТУ им. Баумана.

Эдуард Адамович Сатель родился 28.08.1885г. в Москве. Его отец Адам Игнатьевич (1864–1932 г.г.) из обрусевших французов на «государевой службе». Мать, Амалия Юльевна, преподаватель французского языка. В семье два мальчика Эдуард и Евгений (1889 г.). Эдуард в 1902 г. закончил реальное училище при реформатской церкви. Поступил в 1908 г. на механическое отделение Императорского Московского Технического Училища (ИМТУ), которое окончил в 1911 году. Учится и одновременно работает с 1908–1911 г. техником на кафедре у профессора В. И. Гриневецкого, по рекомендации которого в 1911–1913 г.г. работает конструктором и руководит испытанием двигателя внутреннего сгорания конструкции В. И. Гриневецкого на опытной станции на Людиновском заводе. В 1912 г. на стипендию ИМТУ направлен на заводы Германии, Англии, Швейцарии для изучения опыта производства локомотивов и дизелей. Выступил с отчетным докладом в собрании Политехнического общества, в котором изложил современное состояние передовой техники и технологии в европейских странах и предложил пути технического совершенствования отечественной промышленности. В 1914–1920 г.г. – начальник производства на Коломенском паровозостроительном заводе. В 1921 г. Э. А. Сатель развернул активную деятельность по технической и организационно-экономической перестройке заводов: «Электросталь», «Геодезия», «Инструмент» и др. 1922–1923 г.г. – член правления по технической части Государственной центральной конторы Всероссийского Совета Народного Хозяйства (ВСНХ) в Москве. В решении сложнейших задач проявилась высочайшая научно-техническая квалификация и эрудиция Э. А. Сателя,

его широкие разносторонние инженерные знания, организаторское дарование, инициатива, энергия и высочайшая ответственность перед страной. В 1922–1930 г.г. – заведующий кафедрой «Организация производства» в Московском промышленно-экономическом институте. В 1923–1930 г.г. – технический директор Московского Машиностроительного Треста. Под руководством Э. А. Сателя на предприятиях «Мосмаштреста» был освоен выпуск новых изделий: металлорежущие станки, инструменты, холодильные аппараты, литейные машины, ткацкие станки, подъемно-транспортные машины, гидронасосы, водяные турбины, деревообрабатывающее оборудование. По его инициативе были построены или реконструированы заводы: «Красный пролетарий», «Фрезер», «Калибр», «Сerp и молот», «Компрессор», «Красная Пресня». В 1925 г. Государственным ученым Советом ему присуждено ученое звание профессора по специальности «Технология машиностроения».

Э. А. Сатель активно работал над созданием научных основ прогрессивной технологии и организации производства, в 1925–1927 г.г. – депутат и член Моссовета, профессор Института Народного хозяйства им. Плеханова. **Э. А. Сатель - пионер освоения поточных методов производства в советском машиностроении.** В 1931–1935 г.г. был техническим директором Сталинградского тракторного завода. Будучи в 1932–1935 годах заведующим кафедрой «Холодная обработка металлов» Сталинградского Механического института, он читал цикл лекций по технологии и организации поточного производства. В 1936–1937 г.г. – директор Новокраматорского завода. Э. А. Сатель впервые выдвинул в отечественной промышленности **задачи широкой унификации, нормализации и стандартизации деталей машин, как генеральный путь к упорядочению номенклатуры конструкций и технических условий.** Как следствие – повышение серийности выпускаемых изделий. В 1937–1939 годы, будучи заместителем начальника и главным инженером 3-го Главного управления Наркомата обороны, он определял всю научно-техническую политику Наркомата, т.е. фактически всей оборонной промышленности страны. В эти трудные годы его брат, Евгений, управляющий Госкинопроката Союза, арестован (1937 г.) и расстрелян (1938 г.). В 1937–1947 г.г. Э. А. Сатель организует новые НИИ: ГСПИ-7, НИТИ-40 и др., а в 1938–1943 г.г. руководит работой НИИ по оборонной технике. 1939–1947 г.г. – председатель совета, начальник технического Управления и член коллегии Министерства Вооружения СССР. В 1939–1962 годы Э. А. Сатель заведующий кафедрой «Технологии специальных производств» МВТУ им. Н. Э. Баумана, поставил курсы технологии производства специальных машин, курсовое и дипломное проектирование, ввел производственную практику. Создал крупную научную школу новой технологии. Под его руководством подготовлено 5000 инженеров, 75 кандидатов технических и экономических наук, более десятка докторов наук. С 1962 по 1968 годы – профессор кафедры.

Скончался Эдуард Адамович Сатель 15.03.1968 г. в Москве.

БЕСПРОЗВАННЫЙ Израиль Моисеевич



Крупнейший ученый, основоположник современной теории резания металлов, кавалер ордена «Красной звезды» (1942), лауреат Сталинской премии СССР (1943), заведующий кафедрой «Теория механической обработки и инструмент» (1930–1950 гг.) МВТУ им. Н.Э. Баумана.

И.М. Беспрозванный родился 2 октября 1884 г. в Галиче Костромской губернии. В 1904 г. окончил Костромское реальное училище. В 1905 г. поступил студентом в Московское Высшее Техническое Училище на механическое отделение, окончил его в 1911 г., сначала стажировался, а затем работал в Соединенных Штатах Америки у самого крупного специалиста в резании металлов и организации производства Ф. Тейлора. В 1914 г. перед самым началом Первой мировой войны вернулся в Россию. Поступил инженером на Сормовский завод в Нижнем Новгороде. С 1921 года работал в Центральном институте труда (ЦИТ), а затем в качестве технического директора завода «Магнето». В 1925 г. И. М. Беспрозванный переходит на работу в «Оргметалл», где под его руководством была создана лаборатория резания металлов. В 1929 г. И. М. Беспрозванный был командирован в Германию для изучения вопросов, связанных с испытанием станков и инструментов. После возвращения из Германии И. М. Беспрозванный назначен заведующим лабораторией резания металлов МММИ (в настоящее время – Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана). В 1930 г. принимает заведование только что созданной кафедрой «Теория механической обработки и инструмента», которой руководит до 1950 г. В 1935 г. И. М. Беспрозванному была присвоена степень кандидата технических наук, а в 1940 г. – степень доктора технических наук и звание профессора (одновременно). И.М. Беспрозванный, являясь членом комиссии по резанию металлов, внес большой вклад в развитие современной науки о резании металлов: разработал основы теории резания металлов, заложил основу для разработки нормативов режимов резания металлов и оптимизации геометрии режущих элементов для всех видов режущих инструментов. Труды И. М. Беспрозванного «Теория резания металлов» (1931–1933 г.г. в трех частях), «Физические основы учения о резании металлов» (1941 г.) и «Основы теории резания металлов» (1948 г.), по существу, *положили начало изучению в нашей стране физических основ процесса резания*. Основополагающие работы И. М. Беспрозванного и его сотрудников по проблеме стойкости металлорежущего инструмента, имели настолько эффективный практический выход, особенно для оборонной промышленности с ее экстремальными требованиями в годы войны, что правительство в 1943 г. присудило Сталинскую премию группе работников ка-

федры во главе с И. М. Беспрозванным (Ларин М. Н., Каменкович С. Л., Рождественский Л. А.). Огромна роль И. М. Беспрозванного в деле становления отечественной школы подготовки специалистов по металлообработке и резанию металлов. Он – основатель кафедры «Теория механической обработки и инструмент» (МГТУ им. Н. Э. Баумана), разработчик идеологии и методологии подготовки инженеров по обработке металла резанием, автор фундаментального курса «Резание металлов». И. М. Беспрозванный воспитал целую плеяду видных ученых-профессоров: Ларина М. Н., Грановского Г. И., Рождественского Л. А., Боброва В. Ф., Титова Г. Н., Юдина Д.Л. Шел 1950 год (!), в разгаре кампания борьбы с «низкопоклонством ученых перед западной наукой». Профессору Израилю Моисеевичу Беспрозванному, ученику Фредерика Тейлора, создателю отечественной науки о резании металлов, места в МВТУ не нашлось.

Умер Израиль Моисеевич Беспрозванный в 1954 году после тяжелой болезни.

ПАНКИН Александр Васильевич



Выдающийся инженер-технолог организатор производства боеприпасов и оборонной техники в России в начале 20 века. Заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор.

Панкин Александр Васильевич родился в 1876 году в дворянской семье, окончил 1 Сибирский имени Александра 1 кадетский корпус (1893 г.) и Михайловскую артиллерийскую академию (1901 г.). А.В. Панкин служил в царской армии в звании полковника, был инспектором Его Императорского Величества артиллерийских заводов. Кавалер многих Российских орденов и французского ордена Почетного Легиона, преподавал в Михайловской артиллерийской академии в 1904–1917 г.г. Участник IV Всероссийского электрического съезда в Киеве (1907 г.). По приглашению профессора В. И. Гринивецкого (ИВТУ) участвовал и выступил с докладом на съезде деятелей промышленности, занимающихся построением и применением двигателей внутреннего сгорания (1910 г.). После революции занимался инженерной деятельностью, научной и педагогической работой. Профессор кафедры холодной обработки металлов Еврейского научного института (1919 г.). Профессор по технологии металлов Харьковского технологического института в 1921 г. В 1920–1930 годы работал профессором на курсах руководителей и инструкторов по техническому нормированию. В своих исследованиях А. В. Панкин опирался на труды известного американского ученого Ф. У. Тейлора по вопросам экономического подхода к назначению режимов резания. Он перевел и прокомментировал его известную

книгу «Искусство обработки металлов», в которой приводится обоснование метода оптимизации режимов резания.

В 1930–1939 годах А. В. Панкин организовал кафедру «Резание металлов» в Московском станкоинструментальном институте (МосСТАНКИИ). В эти годы для усиления научного потенциала и подготовки преподавателей высшей квалификации на кафедры Брянского машинистута заведующими по совместительству, направлены из Москвы крупные ученые – профессор МосСТАНКИНА А. В. Панкин и профессор МВТУ им. Н. Э. Баумана Н. В. Головин. В 1939 г. профессор А. В. Панкин открывает аспирантуру при кафедре Брянского института и к лету 1941 года уже готовится к защите 6 кандидатских и одна докторская диссертация. Следует очередное изменение места работ, на этот раз столица Белоруссии – Минск. В 1939 – 1941 г.г. заведует кафедрой «Станки и инструмент» Белорусского политехнического института. Во время Великой Отечественной войны Александр Васильевич работал профессором, руководил кафедрой «Резание металлов» и был заместителем директора по науке Горьковского политехнического института (1941–1944 г.г.). В этот период он интенсивно занимался научной работой, в 1942 году подготовил и защитил докторскую диссертацию на тему «Решение задач о наивыгоднейшем резании металлов на металлорежущих станках», а затем издал монографию «Основные вопросы наивыгоднейшего резания металлов». В конце войны (1944 г.) профессор А. В. Панкин переехал в Москву и приступил к работе в МАМИ проректором по науке и заведующим кафедрой «Резание металлов и станки». В эти годы профессором А. В. Панкиным был подготовлен и издан учебник «Резание металлов», который затем был переведен на английский, французский и другие языки и использовался в зарубежных странах. Автор активно участвовал в научных дискуссиях о путях развития науки о резании металлов. В 1946 г. кафедры «Инструментальное производство» и «Резание металлов и станки» были объединены в одну – «Резание металлов, станки и инструменты» под руководством профессора С. С. Четверякова. Профессор А. В. Панкин возглавлял кафедру «Станки, инструмент и резание» механического факультета Белорусского политехнического института (1946–1947 г.г.). Здесь среди его диссертантов оказался Георгий Константинович Горанский – будущий член-корреспондент АН Белоруссии. Александр Васильевич Панкин – доктор технических наук. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, отстранен от работы в ВУЗе за «преклонение перед западной наукой» (1949 г.), тем не менее, он до последних дней был деятельным и активным ученым и педагогом.

Умер Александр Васильевич Панкин в Москве после 1963 года.

Избр. библиогр.: «Электрическая передача в мастерской: результаты опытов для определения ее коэффициента полезного действия и некоторые указания к ее устройству» (СПб., 1907 г.); «Резание металлов на станках» (1929 г.); «Немецкая школа резания» (1930 г.); «Резание металлов»; «Трансформации геометрии резцов» (1941 г.); «Основные вопросы наивыгоднейшего резания металлов» (1948 г.); «Обработка металлов резанием» (Москва, 1961 г.).

КОВАН Виктор Михайлович



Доктор технических наук, профессор Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, основатель и заведующий кафедрой технологии механосборочного производства МВТУ – МГТУ является одним из основоположников теории точности технологических процессов механической обработки, и создателем учения о расчете припусков на обработку в машиностроении.

Виктор Михайлович Кован родился в Москве в 1890 году. Поступил в 1902 году в Комиссаровское техническое училище, позднее преобразованное в Московский автомеханический институт им. М. В. Ломоносова. Участник первой мировой войны, прапорщик, ранен в 1915 году.

Служил в РККА, работал в промышленности. В годы индустриализации страны в период осуществления первого пятилетнего плана развития народного хозяйства требовалось создание мощного отечественного машиностроения. В связи с этим в стране широко развернулась подготовка не только конструкторов, но и технологов-машиностроителей. В машиностроительных ВУЗах страны в начале 1930-х годов были созданы технологические кафедры.

В Московском автомеханическом институте им. М. В. Ломоносова кафедра «Технология машиностроения» была образована в феврале 1930 г., ее организатором и руководителем был профессор Виктор Михайлович Кован. Преподавателями кафедры были М. Н. Шестаков, В. М. Степанов, К. П. Крутяков, А. К. Зданович, А. П. Владзиевский, В. З. Фрейдберг, С. Н. Кусиков, В. С. Красавин, И. И. Ветров, Я. И. Вольштейн и др. Большая часть из них совмещала преподавание с работой в промышленности. С первых лет своего существования кафедра проводит большую работу по систематизации и обобщению производственного опыта, а также осуществляет экспериментальные исследования, связанные с определением технологических параметров, необходимых для построения технологических процессов, отвечающих современному уровню техники. Тесное содружество установилось с такими крупными гигантами промышленности, как ЗИЛ, ГАЗ, ИГПЗ, «Красный пролетарий», МСЗ и рядом предприятий оборонной промышленности.

В 20–30-е годы XX века промышленности требовалось увеличить точность деталей, уменьшить шероховатость поверхностей, увеличить производительность. Без научного подхода к этой проблеме нельзя было развивать отечественную промышленность. Главному направлению науки соответствовало учение о точности и припусках на механическую обработку. Это направление научной школы В. М. Кована было выбрано верно, т.к. за

истекшие годы точность изготовления деталей увеличилась примерно в 2000 раз и продолжает расти, а проблема качества изделий стала еще более актуальной. В сентябре 1936 г. при слиянии Ломоносовского института с МВТУ кафедра вошла туда в полном составе вместе со своим организатором и руководителем заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, доктором технических наук, профессором В.М. Кованом.

Виктор Михайлович Кован является одним из основоположников *теории точности технологических процессов механической обработки и создателем учения о расчете припусков на обработку в машиностроении*. Низкие припуски на заготовки и высокая точность обработки были внедрены на оружейных заводах Тулы и Ижевска в 1941 году.

«Профессор В. М. Кован разработал и внедрил рациональную систему допусков в производстве стрелкового вооружения, что позволило сэкономить расход металла, увеличить производительность труда и существенно уменьшить время производства этого массового вида оружия». Об этой разработке подробно рассказала газета «Правда».

Под его руководством в 1945 г. организована первая в СССР учебная лаборатория по технологии машиностроения. В МВТУ в предвоенные годы преподаватели кафедры читали курсы: «Технология машиностроения», «Основы проектирования машиностроительных цехов и заводов», предусматривались практические занятия, курсовая работа и руководство производственной практикой. Состав кафедры – 10 человек: заведующий профессор В. М. Кован обеспечивает технологическую подготовку на специальностях механико-технологического (МТ) и танкового (Т) факультетов, а с 1937 г. – на ряде специальностей факультета тепловых и гидравлических машин (ТГМ).

Система подготовки специалистов в МГТУ им. Н. Э. Баумана, базирующаяся на практическом обучении студентов, повлекла создание научной школы технологов-машиностроителей. Главные направления научной школы профессора В. М. Кована сформировались на основе требований производства.

Вокруг В. М. Кована сплотилась группа молодых ученых и уже с 1936 года на защиту стали выноситься кандидатские диссертации по актуальным вопросам технологии машиностроения. Учебно-методическая работа кафедры была неразрывно связана с ее научно-исследовательской деятельностью по актуальным вопросам технологии машиностроения. Именно им в 1930-х годах были выпущены первые пособия и книги, рекомендуемые как учебники для ВТУЗов. В результате обобщения производственного опыта передовых по технологической культуре отечественных заводов изданы первые труды В. М. Кована – учебные пособия: «Производство автомобилей и тракторов» (1930 г.), «Обработка автомобильных и тракторных деталей на металлорежущих станках» (1933 г.), «Конспект лекций по сборке машин» (1934 г.), учебное пособие «Технология автотракторостроения» (1935 г.). В целях обоснования выбора методов обработки при проектировании технологических процессов В.

М. Кованом была разработана «Методика оценки эффективности методов механической обработки» (1937 г.). В тот же период проводится работа по исследованию факторов, обуславливающих припуски на обработку. В 1939 г. был издан совместный труд В. М. Кована и А. Б. Яхина «Теоретические вопросы технологии машиностроения». Тесные связи были установлены с технологической кафедрой, возглавляемой профессором Ленинградского политехнического института А. П. Соколовским и Московской школой воспитанника МВТУ профессора А. И. Каширина в «МосСтанкине». До войны защитили кандидатские диссертации аспиранты Л. И. Вольштейн (1936 г.), В. С. Корсаков (1939 г.), Г. М. Шатуновский (1940 г.), соискатель В. Б. Гокун (1940 г.). В целом под руководством В. М. Кована защищено 27 кандидатских диссертаций. За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны он награжден орденом Красной Звезды.

Одним из важнейших положений научной школы профессора В. М. Кована является **разработка расчетно-аналитического метода определения ожидаемой точности изготовления деталей и сборки машин**. Это работы, посвященные проблемам определения технологических параметров, необходимых для построения высокопроизводительных технологических процессов. Благодаря творческой и созидательной работе В. М. Кована и его учеников профессора В. С. Корсакова, к.т.н., доцентов А. Г. Косиловой, М. Д. Солодова, М. А. Калинина, Н. М. Капустина кафедра заняла ведущее положение среди технологических кафедр страны.

Виктор Михайлович Кован жил в Москве скончался в 1962 году.

КОРСАКОВ Владимир Сергеевич



Ученый, инженер-технолог, основатель научной школы в области теоретических основ технологии машиностроения и станкостроения, заведующий кафедрой «Технология механосборочного производства» (1960-1984 г.г.). Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, член-корреспондент АН Латвийской ССР.

Корсаков Владимир Сергеевич родился в 1910 году. Окончил МАМИ. В МВТУ работал с 1936 года: оставлен сначала аспирантом, затем преподавателем кафедры «Технология машиностроения». В те далекие годы кафедрой заведовал профессор В. М. Кован, под руководством которого Владимир Сергеевич выполнил диссертацию (1939 г.). Темой его исследований была **разработка расчетно-аналитического метода определения ожидаемой точности при изготовлении деталей и сборки машин**.

С первых дней своего существования кафедра работала в тесном содружестве с такими предприятиями-гигантами нашей промышленности, как ЗИЛ, ГАЗ, 1 ГПЗ, «Красный пролетарий» и многими предприятиями оборонной промышленности. В тяжелейшие годы Великой Отечественной войны часть коллектива кафедры была эвакуирована в Ижевск. С частью своих коллег В. С. Корсаков остался в Москве. Он организовал работы по ремонту боевой техники на оборудовании кафедры, тут пригодился его опыт и опыт его сотрудников в области технологии машиностроения.

В 1950-е годы научная школа еще больше оформилась в организационном, научном и методическом отношении и стала ведущей в стране. Учение о точности было дополнено исследованиями по оценке качества деталей современными методами. В эти годы были проведены глубокие исследования физических явлений, возникающих в поверхностных слоях деталей машин в процессе их изготовления.

Владимир Сергеевич – доктор технических наук (1955 г.) и профессор (1956 г.). Бурное развитие промышленности потребовало выделения четко очерченного курса «Технология машиностроения». Большая заслуга в его разработке принадлежит заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, доктору технических наук, профессору В. С. Корсакову, возглавившему кафедру после смерти В. М. Кована в 1962 году. Развитие научной школы происходило по трем направлениям: точность при изготовлении деталей, технологические основы автоматизации процессов механической обработки и сборки, автоматизация проектирования технологических процессов.

Профессор В. С. Корсаков существенно развил ряд направлений. Он стал основателем научной школы в области теоретических основ технологии машиностроения и станкостроения. За 24 года руководства кафедрой им опубликованы более 20 монографий и учебников, он был научным руководителем 74 аспирантов и многих соискателей, успешно защитивших кандидатские диссертации. Одними из его трудов были учебники: «Основы технологии машиностроения» для специальностей машиностроения (который переведен на многие языки) и для конструкторских специальностей (1974, 1977 г.г.); учебник «Автоматизация производственных процессов» (1978 г.). Учебник «Основы конструирования и расчеты приспособлений» (1971 г., 1983 г.) так же вышедший двумя изданиями, оказался весьма востребованным как практикам из конструкторских бюро, так и студентами ВУЗов. В последние годы уделено большое внимание разработкам методов автоматического проектирования технологических процессов и оснастки с помощью вычислительной техники. Владимир Сергеевич Корсаков – Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1975 г.), избран общим собранием Академии Наук Латвийской ССР членом-корреспондентом Академии (1980 г.), его имя внесено в книгу Почета МГТУ им. Н. Э. Баумана в 1981 году.

Владимир Сергеевич Корсаков умер в октябре 1984 года.

ЯХИН Абрам Борисович



Доктор технических наук, профессор, основатель и руководитель научной школы «Технологии приборостроения», выдающейся организатор науки, которая зародилась в Московском механико-машиностроительном институте (МММИ) им. Н. Э. Баумана в 1930 году.

Абрам Борисович Яхин родился в сентябре 1901 г. в семье кустика-ювелира, владельца небольшой мастерской на Бессарабке в Киеве.

В 1919 г. закончил обучение в Коммерческом училище г. Киева, затем поступил на механический факультет Киевского индустриального института, который закончил с отличием в 1924 г., защитив дипломный проект на тему: «Проект

штамповочного завода» и получил квалификацию инженера технолога-организатора.

С 1924 по 1925 годы работал на Киевском заводе «Арсенал», с 1925 по 1926 годы служил в 1-м железнодорожном полку, с 1926 по 1927 годы работал инженером конструктором на заводе «Электросила», с 1927 по 1928 годы – инженером на заводе №26 в Москве, с 1928 по 1932 годы – начальником опытного отдела завода «Геофизика» в Москве. С 1930 г. – преподаватель в МВТУ им. Н. Э. Баумана сначала ассистентом, затем с 1935 г. доцентом по кафедре «Точная механика» (заведующий кафедрой – профессор Дроздов Федор Владимирович). Ввиду важности для народного хозяйства и обороны страны подготовки специалистов в области создания различных видов приборов, на факультете «Приборостроение» в 1938 году была образована кафедра «Технология точного приборостроения» (П8), которую возглавил А. Б. Яхин. В первые годы своего существования кафедра не являлась выпускающей и проводила общетехнологическую подготовку студентов факультета «Приборостроение». Коллектив кафедры стоял у истоков развития нового направления науки и техники, связанного с глубокой проработкой вопросов точности, надежности и качества в точном приборостроении. Научные работы того времени были направлены на создание технологических процессов производства, сборки, контроля первых поколений отечественных высокоточных приборов, выполнявших функции контроля и управления сложными объектами.

В 1938 г. Яхину А. Б. присвоена ученая степень кандидата технических наук без защиты диссертации, в 1940 г. – ученое звание профессора. В июне 1941 г. Высшая аттестационная комиссия присудила ему ученую степень доктора технических наук по результатам защиты докторской диссертации на тему «Проектирование станочных операций в связи с рассеиванием размеров».

В 1941 г. профессор А. Б. Яхин эвакуировался в г. Ижевск, где совмещал

педагогическую деятельность с работой по производству точных приборов для оборонной техники на заводе №74 Наркомата вооружений. В 1943 г. профессор А.Б. Яхин возвратился в Москву и вплоть до 1957 г. продолжал работу в качестве заведующего кафедрой «Технология точного приборостроения» (П8). В эти годы проявился незаурядный организаторский талант профессора А. Б. Яхина, который в трудный для страны и высшего образования период объединил вокруг себя талантливых ученых, инженеров, педагогов. В кратчайшие сроки коллектив возглавляемой профессором А. Б. Яхиным кафедры сумел организовать подготовку высококвалифицированных кадров для радиотехнических и приборостроительных предприятий и организаций. В начале 1950-х годов с началом бурного развития электроники и вычислительной техники профессор Яхин А. Б. явился инициатором реформирования учебных планов и программ для новых специальностей в системе подготовки кадров МГТУ им. Н. Э. Баумана. При проведении лекционных и семинарских занятий профессор А. Б. Яхин проявлял глубокую эрудицию в рассматриваемых предметных областях, знание фундаментальных законов, на которых основываются предметы специальности, стремление передать знания студентам. При этом он особенно бережно относился к студентам-фронтовикам и студентам, приехавшим из глубинки России.

Основным направлением деятельности Абрама Борисовича Яхина, его учеников и работников возглавляемой им кафедры, было создание научно-производственной дисциплины «Технология приборостроения», которая превратилась в научное, насыщенное инженерными расчетами научно-техническое направление. В дальнейшем был осуществлен большой комплекс научно-исследовательских работ по формированию научной базы технологии приборостроения, результаты которых нашли свое отражение в фундаментальном труде А. Б. Яхина «Теоретические основы проектирования технологических процессов» (1937 г.). Из широкого спектра стоящих в то время перед кафедрой научных задач по созданию научных основ технологии приборостроения особое место занимала проблема обеспечения точности элементов и устройств современных приборов как по геометрическим, так и по физическим параметрам (параметры точности и математическое описание их качественных характеристик).

Формирование теории точности применительно к конкретным видам обработки для различных отраслей приборостроения получило развитие при выполнении ряда научно-исследовательских работ для промышленности. Итогом этих работ стала публикация следующих трудов: «Технология точного приборостроения» А. Б. Яхина, А. Н. Малова, А. А. Маталина, М. А. Кашепава (1949 г.), «Технология приборостроения» А. Б. Яхина и В. П. Ефимова (1955 г.), «Технология холодной штамповки» А. Н. Малова (1949 г., 1969 г.), а также «Технология материалов в приборостроении» (под редакцией А. Н. Малова, 1963 г.). Каждый труд А. Б. Яхина и его учеников неизменно содержал много новых сведений, показывал пути дальнейшего развития и совершенствования технологических процессов в приборостроении.

В теории точности профессором А. Б. Яхиным выделено следующее:

- общая теория точности технологических процессов;
- вопросы точности применительно к конкретным видам обработки;
- точность изготовления отдельных деталей приборов;
- обеспечение качества приборов при сборке.

Научно-практические принципы, заложенные А. Б. Яхиным в научную школу «Технология приборостроения», легли в основу новых, созданных в последующие годы и развивающихся в настоящее время в Московском государственном техническом университете (МГТУ) им. Н. Э. Баумана на кафедре «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (ИУ-4) научных школ «Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры», «Конструкторско-технологическая информатика», «Микро- и нанотехнологии».

Доктор технических наук, профессор Абрам Борисович Яхин – основоположник научно-производственной дисциплины «Технология приборостроения». Он посвятил этой науке всю свою жизнь, передав последующим поколениям преподавателей, специалистов и ученых свои знания и опыт, опубликовав целый ряд фундаментальных работ в области точности и технологии приборостроения: «Основы разработки технологических процессов» - 24 п.л., Госмашметиздат, 1934 г.; «Анализ неточностей при обработке на металлорежущих станках в точном приборостроении» - 4,5 п.л., МММИ им. Н. Э. Баумана, 1935 г.; «Теоретические вопросы технологии машиностроения» - 19,1 п.л., Машгиз, 1939 г.; «Технология точного приборостроения» - 28 п.л., (34 п.л., 30 п.л.), Оборонгиз, 1940 г. (1949 г., 1954 г.); «Проектирование технологических процессов механической обработки» - 22 п.л., Оборонгиз, 1946 г. За успехи в области подготовки высококвалифицированных кадров для отечественной промышленности профессор А. Б. Яхин награжден многими орденами.

Скончался Абрам Борисович Яхин в 1957 году в Москве.

МАТАЛИН Андрей Александрович



Имя профессора, доктора технических наук, Заслуженного деятеля науки и техники Украины А. А. Маталина находится в одном ряду с известными именами ученых – науки о технологии машиностроения. На почетную принадлежность к научной школе А. А. Маталина сегодня претендуют школы ученых-технологов России (г. Санкт-Петербург) и Украины (г.г. Одесса и Киев). Наверное, так и должно быть, ведь настоящая наука не имеет границ, а имена выдающихся ученых принадлежат всем.

Андрей Александрович Маталин родился 12 марта 1914 года на берегах великой реки Волги в семье преподавателей. Отец, Александр Филиппович, окончил физико-математический факультет Казанского университета, преподавал физику, мать, Екатерина Васильевна – иностранные языки. В семье двое мальчиков Юрий и Андрей. Учатся в средней школе с углубленным изучением иностранных языков.

В 1937 году А. А. Маталин, окончив с отличием Горьковский индустриальный (ныне Нижегородский политехнический) институт с квалификацией инженер-технолог по механосборочному производству, как молодой специалист был направлен по распределению в Московскую область в город Красногорск на завод оптических приборов.

Приступив к работе в качества технолога, он быстро стал продвигаться по службе и прошел должности мастера, старшего мастера, начальника технического бюро. Умение быстро вникать в суть сложных технических проблем, незаурядные личные качества, большой багаж знаний позволили Андрею Александровичу четко решать производственные задачи.

В начале 1941 г. он был направлен в Германию для работы в торгпредстве СССР. Там молодого человека застало начало войны. Наше государство сделало все для того, чтобы советские специалисты вернулись в Союз. Вместе с другими вернулся домой на свой завод и Андрей Александрович. Теперь он уже в должности заместителя начальника цеха по технической части. В то время завод был эвакуирован в Новосибирск, где в нелегких условиях продолжал выпускать продукцию, необходимую стране.

В 1944 г., уже опытный производственник, Андрей Александрович был направлен Новосибирским обкомом партии парторгом ЦК КПСС в Ленинградский институт точной механики и оптики (ЛИТМО), который находился в Черепанове Новосибирской области.

Вместе с ЛИТМО в 1945 г. он переезжает в Ленинград, где получил новое назначение в качестве парторга ЦК КПСС в знаменитый Государственный оптический институт (ГОИ). Все эти трудные годы Андрей Александрович продолжал работать над своей кандидатской диссертацией: **«Вопросы базирования деталей при автоматическом получении размеров на станках»**. В 1946 г. состоялась ее успешная защита.

В 1947 г. А. А. Маталин снова в ЛИТМО, но на этот раз в качестве доцента, а затем и заведующего кафедрой «Технология приборостроения». Пять лет упорной работы, научных изысканий, сложных хозяйственных тематик не прошли даром. В 1952 г. – уже в должности заведующего кафедрой «Технология машиностроения» Инженерно-экономического института (ЛИЭИ).

С 1954 г. по 1960 г. он ректор ЛИЭИ. Андрей Александрович приобретает известность как крупный ученый в области качества поверхности, долговечности и износостойкости деталей машин, экономичности их механической обработки.

В 1956 г. вышла в свет фундаментальная и хорошо известная в научных кругах его монография «Качество поверхности и эксплуатационные свойства

деталей машин», которая окончательно утвердила авторитет автора как большого ученого и прекрасного исследователя. В 1958 г. А. А. Маталин защитил докторскую диссертацию «Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин».

В 1963 г. Андрей Александрович по приглашению Одесского Политехнического института переезжает на заведование кафедрой технологии машиностроения в славный город Одессу. Андрей Александрович получил отдельное небольшое двухэтажное здание в недостроенном состоянии. Под лозунгом: «Кто кафедру строит, тот в ней работает!» с помощью сотрудников кафедры и студентов здание достроили. В нем развернули технологическую лабораторию, где разместили новые шлифовальные, хонинговальные и алмазно-расточной станки. Была создана лаборатория автоматизации и заново оснащена новейшими приборами измерительная лаборатория. Заработали электронный микроскоп и рентгеновская установка структурного анализа. Кафедра заняла одно из ведущих мест среди аналогичных кафедр в СССР.

В это время А. А. Маталин предложил научную *гипотезу о технологической наследственности*, выдвинув это смелое теоретическое положение, организовал цикл опытных исследований в лабораториях промышленных предприятий Одессы.

Сложные наукоемкие исследования напряженного состояния поверхностных слоев деталей после разнообразных технологических операций шлифования, хонингования, накатывания, алмазного точения и растачивания требовали создания тонких физических исследований (рентгеноструктурного и электронно-микроскопического).

В эти годы А. А. Маталин организовал постоянно действующий семинар по технологии машиностроения, переросший в Институт повышения квалификации инженеров-технологов юга Украины и Молдавии.

Расширялись научные связи кафедры с ближним и дальним зарубежьем. С обширной научной программой в рамках СЭВ А. А. Маталин посетил Чехословакию, Германию, Венгрию и Болгарию.

Техническая общественность высоко оценила научный, педагогический и особенно организаторский талант Андрея Александровича, избрав его председателем Одесского правления НТО «Машпром», руководителем правления которого он был все годы пребывания в Одессе.

В 1966 году под его руководством было проведено выдающееся мероприятие в области машиностроения – Всесоюзная конференция по новым прогрессивным направлениям технологии машиностроения. Участники представляли регионы от Владивостока до Минска, от Санкт-Петербурга до Еревана. В ее работе приняли участие более 20 докторов и около 300 кандидатов наук. С этого времени на кафедре технологии была открыта аспирантура, и начались защиты диссертаций.

В Одессе А. А. Маталин создал научную школу технологов, специализирующихся на финишных методах обработки металлов. За неполных 10 лет он подготовил 20 кандидатов наук, многие из которых стали впоследствии док-

торами наук и сами возглавили научные школы по различным направлениям технологии.

Защитили диссертации под руководством профессора А. А. Маталина: И. П. Моисеев, Я. Д. Колкер, Е. Н. Некрасов, А. П. Гавриш, В. Г. Лебедев, В. Н. Кутяков, К. В. Ломакин, Г. П. Кремнев, О. Н. Руднев, Г. Д. Григорьян, В. А. Дмитришин, П. А. Линчевский, А. А. Ильященко, В. Г. Католиченко, Р. А. Жабокрицкий, В. Н. Морозенко, В. К. Ломакин и др.

Следует особо отметить профессора Гавриша А. П., долгие годы возглавлявшего кафедру технологии машиностроения Киевского политехнического университета «КПИ», профессоров Лебедева В. Г. и Линчевского П. А., которые руководили кафедрами Одесского национального политехнического университета.

Огромная работа в научной, педагогической и организаторской деятельности увенчалась присвоением Андрею Александровичу почетного звания *Заслуженного деятеля науки и техники Украины*.

В конце 1972 года А. А. Маталину было сделано предложение: занять должность ректора Завода-ВТУЗа при Ленинградском Металлическом заводе им. 22 съезда КПСС. Его соблазнила значимая должность и он возвращается в Ленинград. У него был выбор, где работать, и он его сделал. В феврале 1973 г. он был назначен ректором этого уникального учебного заведения, где образовательный процесс студентов в аудиториях сочетался с реальной работой на производстве.

Такую систему образования для подготовки инженеров-конструкторов и технологов Андрей Александрович считал самой прогрессивной и заслуживающей широкого распространения в технических вузах. В должности ректора Андрей Александрович пробыл по ноябрь 1978 г.

К науке Андрей Александрович относился бережно и очень ревностно хранил ее чистоту и достоверность. Ни у себя, ни у своих диссертантов и соискателей не допускал никаких подделок или приблизительных выводов, не доверял случайным результатам. Всегда помогал советом и делом авторам работ, но никогда не шел на компромисс и не давал положительных отзывов на слабые и неполноценные работы, не использовал чужие материалы без ссылок на авторов. Целеустремленный и обаятельный, он быстро привлекал на свою сторону единомышленников и последователей, создавая вокруг себя дружный коллектив, и был всегда в нем лидером. Бездельников, халтурщиков и неумех не любил, быстро и решительно от них освобождался, и привлекал к делу новых талантливых и деятельных людей, смело выдвигал на ответственные посты молодые кадры.

Андрей Александрович любил преподавательскую деятельность, отлично читал лекции и уделял много времени учебной и методической работе. Ежегодно пересматривал и обновлял учебные программы, внося в них новейшие достижения науки. В 1977 г. он написал и издал учебник «Технология механической обработки», а в 1985 г. вышел в свет учебник для студентов ВУЗов «Тех-

нология машиностроения», который спустя 25 лет является одним из лучших, особенно в разделе «Теоретические основы технологии машиностроения».

Огромная научная, преподавательская, организационная, методическая работа приносила не только реальные результаты, но и огромное моральное удовлетворение.

Автор более двухсот научных трудов, десятков учебников и монографий, ученый постоянно поддерживал личные научные контакты с профессорами, работавшими в области своей и смежных специальностей.

Отдыхать приходилось мало. Андрей Александрович, будучи жизнерадостным оптимистом, деятельным человеком, отдыхал всегда продуктивно. Путешествовал по странам и городам с фотоаппаратом. Работая в Одессе, он удивлял коллег дальними заплывами в волны Черного моря, великолепной игрой в настольный теннис, умением с юмором вести дружеские застолья. Андрей Александрович был тонким ценителем музыки, высокого вокала и классического танца. Его всегда можно было увидеть на премьерах в Одесском академическом театре оперы и балета, на концертах симфонической музыки в Одесской филармонии.

В феврале 1985 г. Андрея Александровича не стало.

Он ушел из своего кабинета в больницу и не вернулся. Ученому шел семьдесят первый год. Похоронен он на кладбище жертв 9-го января в Санкт-Петербурге.

В статье использованы материалы личного дела и статья из журнала «Инструмент и технологии» (Зубарев Ю. М., Приемышев А. В. «Профессор Андрей Александрович Маталин – мгновения большой жизни»).

МИТРОФАНОВ Сергей Петрович



Крупный ученый в области технологии и организации производства, профессор по кафедре технологии приборостроения (1962 г.), доктор технических наук. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1961 г.), Лауреат Ленинской премии за разработку и внедрение метода групповой технологии (1959 г.).

Митрофанов Сергей Петрович родился 25 сентября 1915 года в Петрограде. Окончил техникум точной механики и оптики (1933 г.) и ЛИТМО по специальности Точная механика (1939 г.). После окончания учебы работал на Государственном оптико-механическом заводе (ныне – ОАО «ЛОМО»): инженер, начальник технологического бюро, начальник производства, главный технолог. Подготовил диссертацию по методам групповой обработки деталей на опыте «ЛОМО», защитил в 1953 году. С 1951

по 1961 год он партийный функционер – первый секретарь Калининского райкома КПСС, секретарь Ленинградского обкома КПСС по промышленности и науке (1954–1961 г.г.). Участвовал в организации и реконструкции многих предприятий и НИИ города. Доктор технических наук приборостроения (1962 г.), профессор (1962 г.). Работал в университете (1961–2003 г.г.): директор (ректор) ЛИТМО (1961–1974), заведующий кафедрой Технологии приборостроения (ТПС) (1961–1989), профессор кафедры ТПС (1989–2003).

Если случилась бы оказия:

- *Сергей Петрович. Вам можно задать вопрос?*

- *Что вас интересует?*

- *Ваш предшественник профессор А.П. Соколовский предложил типизацию деталей и на ее основе предложил типовую технологию, в чем коренное различие групповой технологии?*

- *Типизация деталей предусматривает деление всей номенклатуры деталей на два основных класса: цилиндрические и призматические, иначе валы, втулки и т.д. и корпуса, крышки и т.д. При таком делении требовались станки: для первых - токарные, шлифовальные, для вторых - фрезерные, расточные, сверлильные. Расстановка станков по технологическому процессу - по потоку. Отсюда поточное производство. Преимущество в высокой производительности специальных станков. Недостаток – низкая их загрузка, высокая себестоимость производства.*

- *Групповая технология предусматривает максимальную загрузку станков за счет высокой концентрации операций на универсальных автоматизированных станках при одновременном сокращении их количества.*

- *Суть групповой обработки заключается в следующем:*

1. *Различные детали комплектуются не по внешним признакам (например, по простой схожести друг на друга), а исключительно по технологическим операциям, необходимым для их изготовления.*

2. *В каждой группе выделяется характерная для нее деталь, называемая комплексной, являющейся наиболее сложной при изготовлении в данной группе. В случае, когда такая деталь отсутствует в группе, искусственно создают комплексную деталь, содержащую все основные элементы данной группы деталей.*

3. *Для выбранной комплексной детали составляется групповой технологический процесс, ряд технологических операций просто исключается.*

4. *Все детали подобранной группы обрабатываются на одном станке, настроенном в соответствии с групповым технологическим процессом, и таким образом групповая обработка деталей основана на объединении деталей в группы, для каждой из которых применимы однородные (групповые) технологические операции и общая (групповая) быстро переналаживаемая технологическая оснастка. Это позволяет **сократить число единиц оборудования, снизить себестоимость производства, понизить и требования к квалификации работников.***

Работа технолога-проектировщика становится сложной, на помощь приходят ЭВМ.

Профессор С. П. Митрофанов одним из первых применил ЭВМ для решения конструкторско-технологических задач. Разработал метод групповой технологии и организации группового производства, основал научную и инженерную школу в этом направлении. Оказал содействие во внедрении метода групповой технологии в производство в ГДР, Чехословакии, США, Японии и других странах. С. П. Митрофанов талантливый и доброжелательный педагог, крупный организатор науки, активный деятель общественных научно-

технических организаций, Почетный академик Санкт-Петербургской инженерной академии (1992 г.), Член совета Дома ученых и председатель секции «Технология машиностроения», автор более 20 монографий, более 200 научных трудов и методических пособий. Являлся членом специализированных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций, осуществлял руководство соискателями и аспирантами.

Награжден орденом Ленина (1957 г.), орденом Знак почета (1967 г.), двумя золотыми медалями ВДНХ СССР (1969 г., 1970 г.).

Умер в 2003 году в Санкт-Петербурге.

ДЕМЬЯНЮК Фома Семенович



Выдающийся ученый-технолог, крупнейший специалист в организации поточного массового и автоматизированного производства автомобилей и других транспортных машин. Заведующий кафедрой «Технологии машиностроения» МАМИ. Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки и техники Лауреат Сталинских премий.

Фома Семенович Демьянчук родился 9 октября 1898 г. в д. Плески Бельского уезда Гродненской губернии. В 1926 г. окончил механический факультет МВТУ им. Н. Э. Баумана. Работал на АМО мастером, заведующим техбюро. По направлению правительства в 1928 г. изучал работу завода «Мерседес» в Германии, а в 1930 г. стажировался в Нью-Йорке (США). С 1947 по 1950 г. был депутатом Моссовета. Доктор технических наук (1956 г.), профессор (1957 г.). До 1961 г. работал на автозаводах ЗИС и КИМ, в Институте машиноведения АН СССР, а также заведующим кафедрой в ВЗПИ. Одной из основных концепций в технологии машиностроения, которую продвигал Фома Семенович Демьянчук, является максимальная концентрация инструментов в станках. В производстве более целесообразно иметь, например, многопозиционный станок вместо нескольких однопозиционных, даже если такой станок загружен на 50 %, говорил он. Во-первых, экономится площадь цеха, во-вторых, уменьшается число станочников до одного, да еще и более низкой квалификации, в-третьих, неполная загрузка содержит перспективу увеличения выпуска без каких либо затрат. Многие идеи им изложены в фундаментальной монографии «Перевод поточного производства машин на новую модель без прекращения выпуска» (1948 г.). Работа в этом направлении высоко оценена: он становится Лауреатом Сталинской премии 1-й ст. (1947 г.) – за подготовку и скоростное освоение производства автомобиля ЗИС-110 и Сталинской премии 2-й ст. (1948 г.) – за осуществление впервые в мире безостановочного перевода производства на выпуск новой мо-

дели (ЗИС-150). Демьянюк Ф. С. награжден орденом Ленина (1933 г.) и орденами Красной Звезды (1944 г., 1948 г.).

С 1961 до 1968 годы заведовал кафедрой «Технология машиностроения» МАМИ. По инициативе Ф. С. Демьянюка на кафедре получили развитие ряд научных направлений: алмазная обработка, бескопирная токарная обработка сложно профильных поверхностей деталей, обработка поверхностным пластическим деформированием, автоматизация технологических процессов механообработки на основе применения агрегатного оборудования и автоматизированного оборудования. В 1968 году выпускает фундаментальную монографию «Технологические основы поточно-автоматизированного производства», Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

Умер в Москве 1968 году.

В 2004 году кафедре решением ученого совета университета (МАМИ) было присвоено его имя.

ДИКУШИН Владимир Иванович



Являлся главным конструктором промышленных автоматических линий и главным инженером проекта автоматического завода поршней. Академик Академии наук СССР, Лауреат Сталинских премий. Герой Социалистического Труда.

Дикушин Владимир Иванович родился 8 августа 1902 г. в Самаре. В 1923 г. он поступил на механический факультет МВТУ. Во время учебы Владимир много времени проводил в лаборатории по обработке металлов резанием, стараясь выявить параметры режимов работы металлорежущих станков, с помощью которых можно изменить как конструкцию станка, так и эффективность его работы. Именно в это время в Советском Союзе шло интенсивное развитие станкостроения, в том числе металлорежущих станков.

Окончив в 1928 г. Московское высшее техническое училище, В. И. Дикушин сначала работает на машиностроительном заводе, а в 1932 г. переходит в Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС) сначала инженером-конструктором, затем старшим конструктором и начальником отдела. С 1937 г. в течение четырех десятилетий он – главный конструктор ЭНИМСа. Здесь В. И. Дикушин впервые в нашей стране начал создавать научные основы и методики проектирования металлорежущих станков агрегатной конструкции. Под его руководством были разработаны на новых принципах агрегатные металлорежущие станки для обработки тубингов для туннелей Московского метрополитена. Разработаны типовые проекты мно-

гоинструментальных и копировальных станков, которые были внедрены в производство на заводе «Станкоконструкция».

В. И. Дикушин регулярно публиковал свои теоретические наработки по основам проектирования металлорежущих станков различного назначения. И эти работы являлись основными справочными материалами по проектированию и модернизации станков. В 1941 году за создание новых конструкций высокопроизводительных металлорежущих станков В. И. Дикушин был удостоен Сталинской премии первой степени. В конце 1940 г. под его руководством начато проектирование первого в Советском Союзе автоматического завода по производству поршней, который в 1950 году был введен в действие.

За разработку проекта автоматического завода поршней Владимир Иванович в 1951 году был удостоен второй Сталинской премии. В 1960–70-е годы под руководством В. И. Дикушина созданы системы станков с числовым программным управлением (ЧПУ), производственные участки автоматически переналаживаемых станков с ЧПУ, с централизованным программным управлением от единой ЭВМ, проведены другие исследования и разработки в области станкостроения.

В 1943 г. В. И. Дикушин был избран членом-корреспондентом, а в 1953 г. – действительным членом АН СССР. Он не раз выступал с докладами по вопросам научно-технического прогресса машиностроения на общих собраниях Академии наук и Отделения технических наук, возглавлял ряд академических научных комиссий. В. И. Дикушин был одним из инициаторов создания Института машиноведения, почти два десятилетия руководил Комиссией по технологии машиностроения. В 1950–70-е годы он являлся научным руководителем целого ряда совместных разработок ИМАШ и ЭНИМС. Несмотря на высокие научные звания, Владимир Иванович постоянно занимался практическими вопросами разработки новых и модернизации существующих металлорежущих станков в целях существенного улучшения их технических характеристик. За редким исключением все его проекты получили практическое воплощение: их выпускала отечественная промышленность, ими оснащались предприятия как в нашей стране, так и за рубежом. Под его руководством были разработаны системы агрегатирования станков и типовое станочное оборудование для обработки тел вращения на автоматических линиях. Им созданы новые расчетные методы в станкостроении, научно обоснованный типаж металлорежущих станков, системы силовых гидроприводов, позволившие органически слить их с конструкциями станков различных типов. В разные годы В. И. Дикушин являлся членом Комитета по Ленинским и Государственным премиям, членом Высшей аттестационной комиссии, входил в состав редакционных советов и был редактором различных научных изданий по проблемам машиностроения.

За большой вклад в теорию и практику создания металлорежущих станков В. И. Дикушин в 1969 г. был удостоен звания Героя Социалистического Труда. Он был также награжден многочисленными медалями.

Скончался Владимир Иванович в Москве 12 января 1979 г., похоронен на Новодевичьем кладбище.

ВЛАДЗИЕВСКИЙ Александр Павлович



Известный инженер–механик. Конструктор первого в мире завода-автомата по производству поршней. Директор Экспериментального Научно-исследовательского Института Металлорежущих Станков (ЭНИМС). Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники, Лауреат Сталинской премии.

Александр Павлович Владзиевский родился в 1905 году в Краковском воеводстве на территории нынешней Польши. С началом первой мировой войны семья пыталась переехать к родственникам в Киев. Добрался до Киева только Саша. Попал в детский дом. Учился в железнодорожном техникуме, затем в Киевском индустриальном институте (ныне КПИ), который окончил в 1930 году.

В 1936 году А. П. Владзиевский уже кандидат наук, работает доцентом кафедры в Московском Автомобильно-Дорожном институте (МАДИ). В 1941–1942 годах он замдиректора по учебной и научной работе. Успешно проводит эвакуацию МАДИ в город Янги-Юль Ташкенской области и там организует учебный процесс в эвакуированном институте. В 1945 году назначен директором Экспериментального Научно-исследовательского Института Металлорежущих Станков (ЭНИМС). Здесь под его руководством и при непосредственном участии выполняются технические проекты автоматических станков и линий. В основном автоматические линии создаются из агрегатных станков для обработки деталей двигателей автомобилей и тракторов. В дальнейшем совместно с главным конструктором института академиком В.И. Дикушиным разрабатывается проект завода-автомата поршней, который доведен до внедрения. В 1951 году коллектив разработчиков получил Сталинскую премию за «проект и запуск производства завода-автомата поршней в Ульяновске». В 1953 году был построен завод-автомат поршневых колец в Одессе также по проекту ЭНИМС. Александр Павлович Владзиевский, обобщая опыт эксплуатации примерно 150 автоматических линий, построенных и функционирующих в стране, разработал теорию надежной эксплуатации автоматических линий. Им обнаружена закономерность, которая определяет связь частоты выхода из строя элементов системы со временем их восстановления: «Те элементы, которые наиболее часто выходят из строя, имеют время восстановления минимальное». А.П. Владзиевский предложил автоматические линии делить на участки и между ними ставить магазины-накопители для «смягчения» потерь времени при восстановлении ее работоспособности. Разработанная теория была положена в основу докторской диссертации, защита которой состоялась в инсти-

туте Машиноведения в 1952 году. В 1953 году ВАК утвердил А.П. Владзиевского в качестве профессора.

Организованные в ЭНИМСе исследования надежности станков и автоматических линий с применением математических методов теории очередей заслужили признание на мировом уровне. В эти годы А.П. Владзиевский выпускает двухтомную монографию «Автоматические линии в машиностроении» [М. Машгиз, 1958], а затем в соавторстве с И.И. Артоболевским – обзор мировых достижений в области автоматизации машиностроения. А.П. Владзиевский автор 115 статей и десятка авторских свидетельств. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

С 1968 года А.П. Владзиевский работает профессором и заведующим кафедрой технологии машиностроительного производства в Московском инженерно-экономическом институте. Награжден двумя орденами Трудового Красного Знамени, «Знак почета», медалями.

Скончался А.П. Владзиевский 14.12.1970 в Москве.

АРТОБОЛЕВСКИЙ Сергей Иванович



С. И. Артоболевский доктор наук, профессор, известный ученый в области теории машин-автоматов, заведующий кафедрой «Основ конструирования машин» Энергомашиностроительного факультета Московского энергетического института (1939-1958 г.г.).

Родился в городе Сергиев Посад Московской губернии в 1903 году в семье Ивана Алексеевича Артоболевского, который после окончания Московской духовной академии получил место законоучителя и преподавателя древних языков в Московском коммерческом училище. Среди учеников Ивана Алексеевича были братья Николай и Сергей Вавиловы – будущие академики, светила отечественной науки. В семье Артоболевских было четверо детей: старший Сергей, младший Иван, впоследствии известный академик, создатель отечественной школы теории машин и механизмов, и младшие две сестры. Мальчики отличались любознательностью, занимались с большой охотой и интересом. Старший успел до революции окончить гимназию и в 1919 году поступил в академию, а младший Иван оканчивал школу. С интервалом в два года оба поступили и стали студентами Петровской сельскохозяйственной академии.

Наступил 1922 год, пути братьев разошлись на многие годы. Сергей был арестован 31 августа 1922 года по обвинению в антисоветской деятельности. Освобожден 12 октября 1933 г. постановлением Коллегии ГПУ за недоказанностью обвинения.

С. И. Артоболевский в 1939 году одним из первых начал исследования в области теории машин-автоматов. В самом конце 1930-х годов только еще намечались попытки теоретического осмысления этого класса машин. В этом направлении работали С. В. Вяхирев, И. Л. Клапук, Г. А. Шаумян, И. И. Артоболевский. Сергей Иванович совмещал научную работу с преподавательской деятельностью в Московском энергетическом институте, где работал профессором, заведующим кафедрой «Основ конструирования машин» энергомашиностроительного факультета Московского энергетического института (МЭИ) (1939–1958 г.г.). Принимал активное участие в разработке автоматической линии производства двигателей на Горьковском автозаводе. Занимался изобретательством. Под руководством профессора С. И. Артоболевского в МЭИ в 1950-е годы проводилась научно-исследовательская работа по вопросам общей теории машин-автоматов, механики машин электровакуумной и кабельной промышленности, электроагрегатов и приводов с большим передаточным числом.

Важное значение имела работа С. И. Артоболевского, представленная как докторская диссертация, доложенная 1 ноября 1943 г.: *«Основы кинематики машин-автоматов»*. В ней автор классифицирует автоматы, исследует кинематику их рабочих органов и устанавливает, что между теоретической производительностью автомата и его кинематикой существует определенная зависимость. Правильным выбором соответствующих кинематических параметров можно увеличить производительность автомата, не нарушая условий выполнения заданного технологического процесса в части требований, предъявляемых им к кинематике и динамике рабочих органов. Эта работа С. И. Артоболевского имела важное значение – открыла новое научное направление в теории машин автоматического действия.

Последний год войны был для Сергея Ивановича годом интенсивной научной работы, он подготовил «Курс теории механизмов и машин» – учебник для немеханических специальностей, а совместно с И. И. Артоболевским, Г. А. Шаумяном и В. А. Юдиным завершил первую часть работы: *«Метод анализа машин-автоматов»*, опубликовал серию работ по кинематике кулачковых механизмов.

В вышедшей в 1949 году монографии «Машины-автоматы» С. И. Артоболевский анализировал рабочие машины, привел подробную классификацию рабочих органов по кинематическим признакам и привел типовые кинематические схемы, примененных в них механизмов. Эта работа С. И. Артоболевского сыграла важную роль в развитии теории машин автоматического действия. В 1950 г. вышла работа С. И. Артоболевского «К вопросу о производительности рабочих (технологических машин)», в 1952 г. – *«Методы определения выпускной способности машин-автоматов»*, где автор уточнил классификацию машин-автоматов, исследовал принципы проектирования рабочих машин и закон движения рабочего звена.

«Ученые от философии» готовили разгром механиков, обвиняя их в схоластике и отрыве от жизни. Однако мероприятие не состоялось. Инженерная общественность (академики А. А. Благодеров, Н. Г. Бруевич, В. И. Дикушин и

другие) сумела объяснить в «инстанциях», что затея «философов от науки» вредна. Им удалось показать высокую эффективность научных работ, которые привели к внедрению в народное хозяйство страны производительных машин-автоматов, автоматических линий и завода-автомата для изготовления поршней автомобиля.

В деле объединения усилий всех специалистов советской школы теории механизмов и машин, особенно важную роль выполнили Совещания, которые начали созывать с 1954 г.

Первое совещание по основным проблемам теории машин и механизмов было проведено Институтом машиноведения АН СССР 14–16 июня 1954 г. Дата эта чрезвычайно знаменательна сама по себе: к этому времени в основном было закончено восстановление народного хозяйства страны, разрушенного войной. Проведена была хозяйственная перестройка, и к середине 1950-х годов можно (хотя и условно) отнести начало современной научно-технической революции.

Непосредственной целью совещания было стремление установить на основе анализа состояния теории механизмов и машин и тех задач, которые ставили перед ней отраслевые направления машиностроения, главные направления дальнейшего ее развития.

Совещание открылось докладом И. И. Артоболевского *«Современное состояние теории машин и ее ближайшие задачи»*, в котором он сразу же указал на новые направления в науке о машинах. Он указал, что *«теория машин – это наука, изучающая механику машин во взаимосвязи с рабочими процессами, ими выполняемыми»*. Задача теории машин заключается в том, чтобы на базе наших знаний в области естественных наук (математики, физики, химии и биологии) создавать машины, обеспечивающие выполнение задаваемого рабочего процесса, обладающие высокой эффективностью и минимальным расходом энергии при максимальном облегчении труда рабочего.

Из этой задачи вытекают основные проблемы, составляющие содержание теории машин: теория рабочих процессов, механика машин.

В работах С. И. Артоболевского в период 1955–1957 гг. были развиты вопросы классификации технологических машин и теория их производительности. Он искал тот «кирпич», ту «молекулу», что является первоосновой, из которых строилась машина. Он искал то, что является общим для машин разных классов. В марте 1958 г. на Втором всесоюзном совещании по основным проблемам теории механизмов и машин, на секции «Теория машин автоматического действия», в докладе С. И. Артоболевского *«О структуре технологических машин-автоматов и ее роли в развитии их общей (межотраслевой) теории»* был предложен ряд общих признаков, на основании которых можно классифицировать приводы и элементы приводов любых машин-автоматов, т.е. дана база для создания общей теории технологических машин-автоматов. С 1958 года С. И. Артоболевский совмещал научную работу в Институте машиноведения с преподавательской деятельностью во Всесоюзном заочном институте, где он специально для заочников разработал и читал курс «Теория машин и ме-

ханизмов». В 1952 г. профессором С. И. Артоболевским издано учебное пособие «Учебное оборудование по курсу теории механизмов и машин». В апреле 1960 года под руководством Сергея Ивановича Артоболевского прошла конференция по производительности рабочих (технологических) машин, поточных и автоматических линий на базе Института Машиноведения и автоматизации АН БССР. В обсуждении актуальных вопросов машиностроения приняли участие: Б. С. Балакшин, Д. В. Чарнко, В. Ф. Прейс, Г. А. Шаумян, Г. К. Горанский, Е. В. Владимиров, И. А. Клусов, Л. И. Волчкевич, А. П. Волощенко, Р. А. Георгалин, В. С. Гусарев и др. В работе С. И. Артоболевского **«О некоторых основных зависимостях механики прерывных движений и их использовании при расчете машин»** (1960 г.), исследовано применение кулачковых механизмов в металлорежущих станках. В это время в технику начали входить понятия кибернетики. Кулачки в машине стали приобретать дополнительные функции: кроме известной силовой, они превращались в носителя программы обработки. Разделение этих функций позволило в дальнейшем выделить класс технологических машин с программным управлением. Возникла необходимость определить «классовую» принадлежность роторных машин Л. Н. Кошкина, откликнутся на исследование профессора Д. В. Чарнко по «циклограммному описанию» ряда операций и процессов в технологии машиностроения. Следовало ответить на вопросы профессора Г. А. Шаумяна о месте внецикловых потерь времени в расчетах производительности машин-автоматов. В докладе, представленном Третьему (июнь 1961 г.) всесоюзному совещанию по основным проблемам теории механизмов и машин, С. И. Артоболевский подвел определенный итог в цикле исследований (1958–1960 гг.). Он разработал основы теории структуры технологических машин и структурную классификацию исполнительных агрегатов, определяющую различие в методах их кинематического и динамического расчета. Им была сделана также попытка создать классификацию технологических машин-автоматов, исходя из различий в функционально-производственных схемах машин. На этом совещании Сергей Иванович Артоболевский не участвовал, тяжелая болезнь приковала его к постели. Доклад от его имени прочитал профессор Л. В. Петрокас.

Выступая на закрытии секции «Машин автоматического действия», в отсутствие Сергея Ивановича, И. И. Артоболевский указал, что «в теории машин автоматического действия существуют две важнейшие проблемы: **создание методов расчета их производительности и эффективности и развитие методов проектирования кинематических схем машин-автоматов.**

Первая проблема почти не разработана. Однако вопросы критериев производительности и эффективности рабочих машин, в свою очередь, зависят от целого ряда проблем науки о машинах. К ним относятся: научная классификация рабочих машин; **проблема изучения энергетического баланса машин-автоматов; изучение энергоемкости машинных агрегатов.**

Вторая проблема затрагивает ряд вопросов, связанных с развитием методов расчета и проектирования машин-автоматов. Это в первую очередь: **установление принципиальной схемы машины-автомата с ее исполнительными**

(рабочими) органами, для проектирования которых необходимо знать закон их движения. Последний должен полностью отвечать требованиям технологического процесса. Все необходимые для проектирования зависимости могут быть представлены в аналитической форме, в виде соответствующих уравнений или графически построенных в соответствующей системе координат».

Это можно считать завещанием Сергея Ивановича Артоболевского, который скончался 12 июля 1961 года, спустя двадцать дней после завершения Третьего совещания по ТММ.

ГОРАНСКИЙ Георгий Константинович



Основатель научной школы автоматического проектирования конструкций и технологий в машино- и приборостроении, первый директор института технической кибернетики Академии Наук Белоруссии, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АН Белоруссии, действительный член Международной академии наук информации, информационных процессов и технологий, участник Великой Отечественной Войны.

Георгий Константинович родился 26.12.1912 в городе Казань в семье армейского офицера родом из Полоцка, который с 1919 года служил командиром артиллерийской части РККА, 1924–1931 гг. был начальником военного Училища ЦИК БССР в г. Минске.

С 1928 г., после окончания семилетки, Георгий Константинович работает подсобным рабочим, каменщиком на стройках Минска, формовщиком-литейщиком на заводе и одновременно учится на вечернем рабфаке. В 1933 году он стал студентом механического факультета Белорусского Политехнического института, который окончил с отличием в 1938 году по специальности «Станки, инструменты, холодная обработка металлов».

Окончание БПИ было омрачено тяжелой трагедией, негативные последствия которой отражались на судьбе Г. К. Горанского в течение 18 лет. Особая тройка НКВД БССР приговорила его отца, полковника К. Ф. Горанского, к расстрелу. Родным впоследствии сообщили, что К. Ф. Горанский умер в заключении в декабре 1945 г. В 1956 г. Военный трибунал БВО полностью реабилитировал его «за отсутствием состава преступления».

После окончания БПИ некоторое время Георгий Константинович Горанский работает главным механиком Минской щеточной фабрики, затем конструктором на станкостроительном заводе им. С. М. Кирова и по совместительству ассистентом в политехническом институте на кафедре «Технология машиностроения». В

сентябре 1939 г. был призван в Красную Армию, участвовал в освобождении Западной Беларуси, в советско-финской войне. В октябре 1940 г. возвратился на прежнее место работы на завод им. С. М. Кирова.

После начала Отечественной войны в июне 1941 года Г. К. Горанский получил назначение командиром взвода в прибывшую из Москвы 37-ю мотострелковую дивизию. Участвовал в битве за Москву в составе 16-й армии К. К. Рокоссовского, в конце 1941 г. был ранен. После излечения попал на Калининский фронт в зенитно-артиллерийский дивизион, начальником штаба которого окончил войну.

В августе 1945 г. капитан Г. К. Горанский, награжденный орденами Отечественной войны (1 и 2 степени), Красной Звезды и медалями, вернулся на завод им. С. М. Кирова главным технологом, одновременно преподавал в БПИ.

С 1946 г. – на постоянной работе в БПИ. Под руководством проф. А. В. Панкина готовит и защищает кандидатскую диссертацию (1948 г.). Г. К. Горанский в эти годы – декан механического (до 1951 г.) и торфяного факультетов (1953–54 г.г.), заведующий кафедрой, проректор (1954–1955 г.г.). За большую работу по восстановлению и развитию БПИ награжден в 1951 году грамотой и в 1954 году Почетной грамотой Верховного Совета БССР.

В период 1953–1960 г.г. Г. К. Горанский заканчивает серию из шести книг-справочников общим объемом 1466 с., выпущенных «БелГосИздатом». В основном это работы по теории и практике резания и применению прогрессивного инструмента. В 1956–1957 г.г. Г. К. Горанский работает начальником отдела и главным инженером СКБ-8 Министерства станкостроения СССР.

В 1957 году Г. К. Горанский был назначен исполняющим обязанности директора вновь созданного Института машиноведения и автоматизации АН БССР и возглавил лабораторию по автоматизации процессов инженерного и управленческого труда, в которой проводились исследования по алгоритмизации проектирования. Георгий Константинович приложил много сил для организации и становления института, налаживания тесных контактов с машиностроительными предприятиями. В 1960 году он проводит крупную Всесоюзную конференцию «Автоматизация технологических процессов в машиностроении», которая намечает кибернетические пути в развитии автоматизации нового времени.

Первые монографии Г. К. Горанского «К теории автоматизации инженерного труда» (1962 г.) и «Расчет режимов резания с помощью ЭВМ» (1963 г.) заложили основу научного направления «автоматизация проектирования в машиностроении на базе средств вычислительной техники».

Георгий Константинович сформулировал *основные понятия о моделях объектов проектирования (конструкций, деталей, технологических процессов), о методах формализации процессов конструирования, связей взаимного положения элементов конструкций, размерных связей, количественных и качественных характеристик объектов и процессов проектирования.* Коллектив его сотрудников, при его руководстве и непосредственном участии, *разработал методику кодирования информации о машиностроительных объектах, а также теоретические основы и практические методы использования аппа-*

рата теории множеств для формализации и алгоритмизации процессов машиностроительного проектирования.

В 1963 году Г. К. Горанский вместе с лабораторией переведен в Институт математики и вычислительной техники АН БССР и назначен директором вычислительного центра, а с 1965 года избран директором Института технической кибернетики АН БССР.

В 1968 году Г. К. Горанский защищает докторскую диссертацию «Элементы теории автоматизации синтеза машиностроительных конструкций», в которой впервые использованы методы линейного и геометрического программирования для оптимизации технических конструкций и технологий.

В 1969 г. общее собрание Академии Наук по предложению Президиума Академии единогласно избрали Георгия Константиновича Горанского членом-корреспондентом.

В эти годы ярко проявился его талант ученого и руководителя научного учреждения. Исследования института того периода охватывали весь комплекс проблем: автоматизацию технической подготовки производства, включая проектирование станков, деталей и узлов машин, технологических процессов и приспособлений, инструментов, штампов и другой оснастки; автоматизацию проектирования схем управления станками и оборудованием. Разрабатывались и создавались различные технические средства ввода, хранения и обработки графической информации и программное обеспечение для них. Под его редакцией издавался сборник «Вычислительная техника в машиностроении» (1965–1970 г.г.).

Институт стал известным не только в СССР, но и за рубежом. Наладилось интенсивное международное сотрудничество с научными организациями и промышленными предприятиями ГДР, Венгрии, Бельгии, Англии, Канады.

Г. К. Горанский возглавлял делегацию ученых АН СССР на Международном конгрессе по кибернетике в Лондоне в 1969 г. и выступил с докладом. В эти годы он – активный член редакционного совета «Белорусской советской Энциклопедии».

В 1971 году Г. К. Горанский организовал и до 1982 года возглавлял Минское отделение Центрального научно-исследовательского технологического института Миноборонпрома СССР, являясь главным конструктором по САПР и автоматизированным системам технологической подготовки производства (АС ТПП). В это время были опубликованы его новые работы по автоматизации проектирования технологических процессов и средств их оснащения. В них Г. К. Горанский последовательно решает задачи, поставленные в первых двух монографиях.

Г. К. Горанским в соавторстве и под его редакцией подготовлено и издано учебное пособие «Основы разработки автоматизированных систем технологической подготовки производства в машиностроении» (Челябинск: ЧПИ, 1977. – 373 с.).

В 1985–1993 г.г. Г. К. Горанский работает в Белорусском НИИ научно-технической информации и технико-экономических исследований Госплана

БССР, здесь на основе новых результатов опубликовал серию из 11 брошюр. В них собраны и представлены методические указания, руководящие и справочные материалы по разработке и эксплуатации АС ТПП.

В 1993 году Г. К. Горанский возвращается «в родные Пенаты», он – главный научный сотрудник Института технической кибернетики АН Белоруссии.

Георгию Константиновичу перевалило за восемьдесят, но он полон энергии, постоянно блистает идеями, активно работает с аспирантами, консультирует соискателей.

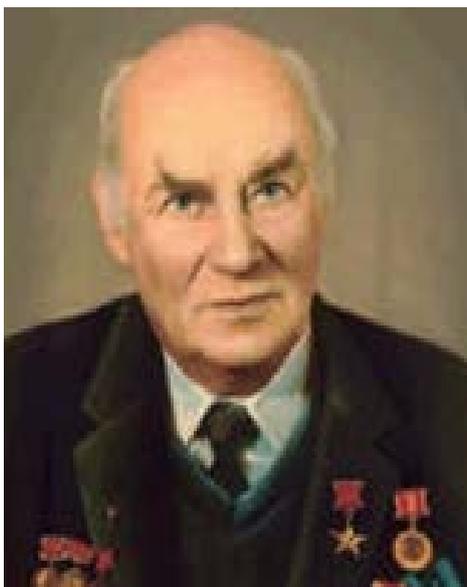
Г. К. Горанский – автор многочисленных научных работ, в том числе 8 монографий, 20 брошюр, нескольких изобретений в области информационно-вычислительных систем и стандартов, научно-популярных статей, один из авторов трехтомника «Прогресс кибернетики» (Лондон: Гордон и Бридж, 1970).

Г. К. Горанский создал научную школу, подготовив 38 кандидатов наук для Беларуси, России, Узбекистана, Литвы, Эстонии и других стран, 10 из них стали докторами наук. Член технического совета и председатель секции автоматизации инженерного труда научного совета по вычислительной технике ГКНТ СССР, председатель Белорусской территориальной группы Международной федерации по автоматическому управлению, член научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР.

Г. К. Горанский – один из первых советских ученых, создавших теоретическую базу, практические методы и основные направления автоматизации машиностроительного проектирования с помощью вычислительной техники.

Георгий Константинович Горанский ушел из жизни 08.11.1999 года после длительной и тяжелой болезни.

КОШКИН Лев Николаевич



Основоположник автоматизации производства на базе роторных и конвейерных линий, начальник и главный конструктор Конструкторского особого бюро автоматических линий, академик АН СССР, академик Российской Академии Наук, академик ВАСХНИЛ СССР, Заслуженный деятель науки и техники России, Доктор технических наук, Профессор.

Родился 12 (25) октября 1912 года в городе Вязьма Смоленской губернии, ныне Смоленской области в семье землемера. В 1929 году окончил среднюю школу в городе Орел. Начал трудовую деятельность разнорабочим на строительстве, потом стал каменщиком и даже мастером.

В 1931 году приехал в Москву и поступил на вечернее отделение Московского высшего технического училища (МВТУ) имени Н. Э. Баумана. Одновременно работал мастером цеха, конструктором на московских заводах «Калибр» и «Пресс». В 1936 году перевелся на дневное отделение МВТУ и в 1937 году успешно окончил его.

В 1937 году распределен на Ульяновский патронный завод № 3 имени Володарского Народного комиссариата вооружений СССР, конструктор, с 1938 года – начальник конструкторского бюро завода, с 1940 года (в 28 лет!) – главный конструктор. На этом заводе возглавил работу по созданию первых советских роторных автоматов для производства винтовочных и автоматных патронов. В 1938 году первая роторная линия была запущена в производство. Это было первым подобным производством в СССР, было положено начало новой отрасли отечественного машиностроения – комплексной автоматизации производства на базе роторных линий. В последующие годы работы в Ульяновске Л. Н. Кошкин совершенствовал действующую роторную линию и разрабатывал и внедрял в производство новые роторные системы.

В 1944 году Л. Н. Кошкин назначен начальником и главным конструктором вновь созданного Центрального конструкторского бюро № 3 (с 1966 года – конструкторское бюро автоматических линий, с 1994 года – ОАО «КБАЛ имени Л. Н. Кошкина») в городе Климовске Московской области. Этим КБ он руководил 42 года. Здесь наряду с практическим созданием последовательных роторных линий, роторно-конвейерных производств и комплексно-автоматизированных производств, Лев Николаевич вел и широкие научные исследования в области автоматизации производства. Он теоретически обосновал направление развития технологических машин-автоматов непрерывного действия.

В 1954 году в Специализированном Ученом совете Тульского политехнического института Л. Н. Кошкин защищает кандидатскую диссертацию, в которой формулирует классификацию взаимодействия «системы инструмент – деталь», как контактную задачу. Устанавливает четыре класса взаимодействия. Указывает принципы построения роторных технологических машин непрерывного действия. В 1963 году в Ученом Совете МВТУ защищает докторскую диссертацию **«Комплексная автоматизация на основе роторных и конвейерных линий»**.

С 1964 года он профессор Тульского Политехнического.

Был случай, я задал вопрос

- Лев Николаевич, роторные системы пищевой отрасли и Ваши похожи?

- Похожи только внешне. В «пищевых» линиях объект постоянной формы по ходу процесса ее не меняет. Операций всего ничего: бутылку, например, моют, сушат, наполняют, закупоривают. В роторных линиях исходная заготовка, например, шайба, превращается в объемный объект, который неоднократно меняет форму, число операций доходит до двух десятков, надо еще обеспечить точную передачу объекта с одного ротора на другой. А объект сложной формы. Динамика также не простая, для машины со многими вертикальными валами, при наших скоростях. Все не так просто, как кажется.

- Лев Николаевич, а как Вы придумали конвейерные машины и линии?

- Конвейеры непрерывного перемещения известны давно, например, эскалаторы в метро или в элеваторах для зерна, но там все валы горизонтальные, а у нас вертикальные. В чистом виде конвейеры машины транспортные, а у нас технологические. Занялись ими мы потому, что нужно было объединить в систему разнообразные и с разной длительностью технологические операции.

Так коротко объяснил, потом улыбнулся и далее рассказал, что впервые идея роторной машины пришла в голову ему, студенту третьего курса института, при выполнении курсового проекта по ТММ при проектировании кулачкового механизма с толкателями. Обычно в этих механизмах вращается кулачек. Вот пришла мысль кулачек сделать неподвижным, а вокруг него завращать толкатели.

В эти годы в КБ создается новое направление – разработка автоматических линий для массового производства продукции невоенного назначения. Были созданы роторные и конвейерные линии непрерывного действия разных отраслей машиностроения и приборостроения уже в интересах всего народного хозяйства СССР. Например, впервые в мире были созданы автоматические линии: сборки роликовых цепей; сборки баллонов сжиженного газа; полупроводниковых приборов с производительностью 100 штук в минуту; линии полного цикла изготовления строительного-монтажных патронов с производительностью 600 штук в минуту; линии изготовления одноразовых шприцов; сборки клапанов аэрозольных упаковок производительностью 1000 штук в минуту и десятки других. Общее количество роторных и конвейерных линий, созданных в СССР, превышало 1000 наименований.

Одновременно с руководством КБ профессор Лев Николаевич Кошкин свыше 20 лет преподавал в ТПИ, в МВТУ имени Н. Э. Баумана, в учебном центре Министерства оборонной промышленности.

За выдающиеся заслуги в создании новых образцов специальной техники указом Президиума Верховного Совета СССР («закрытым») от 11 октября 1982 года **Кошкину Льву Николаевичу** присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот».

С 1986 года Л. Н. Кошкин – Генеральный директор Межотраслевого научно-производственного комплекса «Ротор». С 1989 года – почетный директор МНТК «Ротор».

Лев Николаевич – автор свыше 200 научных трудов и 170 изобретений. Он академик Академии наук СССР (1984 г., минувшая степень члена-корреспондента). Академик ВАСХНИЛ СССР (1975 г.). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1972 г.). Заслуженный изобретатель СССР (1983 г.). Ленинская премия (1962 г.). Сталинская премия (1943 г.). Государственная премия СССР (1980 г.). Премия имени С. И. Мосина. Золотая медаль имени В. Г. Шухова № 1 (1991 г.). Награжден орденами Ленина (1971 г., 1982 г.), орденами Трудового Красного Знамени (1942 г., 1966 г.), орденом Красной Звезды (1945 г.), медалями. На здании МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №2» в городе Вязьма Смоленской области установлена памятная доска.

Жил в Москве. Скончался 8 апреля 1992 года.

ШАУМЯН Григор Арутюнович



Ученый в области станкостроения и автоматизации производственных процессов. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и автоматы» с 1944 по 1973 год. Создал научную школу по автоматизации производства. Лауреат Государственной премии СССР.

Родился 01.04.1905 в Дилижане. В 1922–1923 годах работал механиком в Дилижанской типографии.

В 1930 году окончил МВТУ, в 1932–1971 преподавал в МВТУ, в 1944–1973 годы заведует кафедрой «Станки и автоматы». Г. А. Шаумян

изучал станки-автоматы с начала 1930-х годов вначале как инженер, а затем как преподаватель, и позже как профессор МВТУ.

В 1941 г. – главный инженер бюро по выполнению военных заказов. Занимался созданием новых станков. Г. А. Шаумян – автор научных основ автоматизации и теории производительности машин-автоматов. Автор нескольких монографий и 100 изобретений. Доктор технических наук (1943 г.).

В 1946 г. он опубликовал работу «Основы теории проектирования станков-автоматов», в которой развил идею об общности, существующей между машинами автоматического действия разного технологического назначения. Он разработал теорию производительности рабочих машин, позволяющую заранее анализировать производительность проектируемой машины и предусматривать как в конструкции, так и в способах ее эксплуатации условия, обеспечивающие получение запроектированной производительности. Книга содержала также структурный анализ автоматов, главным образом их приводов и систем управления.

Лауреат Сталинской премии за разработку теоретических основ конструирования станков-автоматов, изложенных в научном труде «Основы теории проектирования станков-автоматов» (1946 г.).

В эти годы на кафедре «Станков-автоматов» МВТУ им. Н. Э. Баумана разработаны новые технологические процессы, на базе которых были созданы высокопроизводительные станки ЕТ-50, ЕТ-50А, МР-506. Это многопозиционный автомат принципиально новой конструкции для наружной токарной обработки. При мощности серийного автомата 1265ПМ-6 новый станок обеспечивает высокую надежность и производительность в 5 раз выше, и занимает площадь в 6 раз меньше. Этот автомат выпускался на Киевском заводе станков-автоматов имени Горького. Это так называемый роторный автомат попутного точения, он не имел суппортов, кулачков и других обязательных компонентов станков-автоматов.

Первые автоматические линии появились в конце 1930-х годов. В 1940-х и в первой половине 1950-х годов были созданы автоматические линии для обработки валов электродвигателей, цилиндрических и конических зубчатых колес, шлицевых валов; была сделана попытка создать полностью автоматизированное предприятие по производству автомобильных поршней. Результаты внедрения автоматических линий и их теория были изучены и обобщены в работах Г. А. Шаумяна. В 1949 г. книга «Основы проектирования станков-автоматов» вышла во втором дополненном издании, а в 1952 г. он опубликовал свой известный учебник «Автоматы». В эти годы публикует свою монографию А. П. Владзиевского «Автоматические линии в машиностроении» (1951 г.), в которой рассматривается ряд вопросов и задач автоматизации, содержавшие опыт ЭНИМСа, отличных от принципов, сформулированных Г. А. Шаумяном. Однако многие вопросы теории машин-автоматов и автоматических линий в изложении обоих авторов оказались дискуссионными. В частности, в 1949–1950 гг. была развернута дискуссия по книге Г. А. Шаумяна, в которой приняли участие многие ученые из Московского высшего технического училища и из ЭНИМСа, а также ряд ведущих конструкторов. При этом были подвергнуты критике основные положения, выдвинутые Г. А. Шаумяном. Ответом на затянувшуюся дискуссию явилась книга «Комплексная автоматизация производственных процессов» (1965 г.).

Умер 28.08.1973 г. в Москве.

ЛИНЧЕВСКИЙ Павел Адамович



Павел Адамович ЛИНЧЕВСКИЙ – один из тех, кто стоял у истоков организации современной технологической подготовки для машиностроения бакалавров и магистров в Одесском национальном политехническом университете, которому он отдал 40 лет плодотворной жизни. Он широко известен научной общественности Украины, как автор фундаментального учебника «Технология машиностроения».

Павел Адамович Линчевский родился 28.12.1942 года (3 января 1943 г.) в городе Вознесенске Николаевской области, где временно находилась его семья, эвакуированная из Одессы.

Отец ученый-агроном – Линчевский Адам Филиппович (1904–1947 гг.), мать – Антонина Семеновна (1908–1968 гг.). В семье четверо детей: по двое мальчиков и девочек, он младший. В раннем детстве лишившись отца, его воспитанием и образованием занималась мать.

В 1950 году поступил в среднюю школу № 110. Учеба в младших классах особых воспоминаний не оставила, разве только занятия физкультурой и изучение немецкого языка. Учился с большим интересом особенно в десятом классе. Окончил школу в 1960 году и начал серьезную трудовую деятельность на Одесской фабрике технических тканей в качестве слесаря по ремонту технологического оборудования.

В 1963 году после трех лет работы на фабрике по направлению трудового коллектива поступает на **механико-технологический факультет Одесского политехнического института**. Это не вчерашний школьник, а серьезный, прошедший трудовую закалку человек, который твердо понимает, что «знание – сила», поэтому он учится только на «отлично».

Он с большой теплотой вспоминал преподавателей, с которыми ему непосредственно пришлось столкнуться и, конечно, учиться. Это были: В. И. Завадский – графика, Н. И. Горбатов – теормех, М. Ю. Акивинсон – сопромат, А. С. Радчик – детали машин, М. С. Беляев – ТММ, Б. И. Ивашин – станки, Г. И. Самохин – инструмент, А. А. Маталин – техмаш.

Научной работой в области технологии машиностроения Павел Адамович начал заниматься еще будучи студентом четвертого курса, под руководством известного ученого-технолога профессора А. А. Маталина.

1968 – год окончания ОПИ. Успешно защищает дипломный проект и получает диплом инженера-механика с отличием и рекомендацию в аспирантуру. К этому времени у Павла Адамовича – семья, растет милая, горячо любимая двухлетняя дочь Яна. Перед ним выбор: аспирантура или производство. Выбирает последнее, как более стабильное положение для молодого специалиста, к тому же семейного человека.

Получает направление на работу на завод радиально-сверлильных станков в специальное бюро алмазно-расточных станков.

С 1968 по 1971 год работает инженером-исследователем в лаборатории опытных испытаний новых станков Одесского специального конструкторского бюро алмазно-расточных станков. Здесь он провел ряд опережающих исследований. К этим годам относятся первые его научные статьи и изобретения.

В феврале 1971 г. по приглашению профессора А. А. Маталина перешел на работу в Одесский политехнический институт на должность старшего научного сотрудника кафедры технологии машиностроения. За два года работы в этой должности выполнил несколько научных исследований по заказам промышленности. Их результатом явилась кандидатская диссертация на тему «Исследование методов повышения производительности процесса тонкого растачивания отверстий», успешно защищенная в Ученом Совете ОПИ 26.06.1973 года. В этом же году выходит первая небольшая монография «Тонкое и алмазное растачивание» [Киев: Техника, 1973. – 89 с.].

С 1973 по 1979 годы последовательно занимал должности ассистента (с 1973 г.), старшего преподавателя (с 1975 г.), доцента кафедры «Технологии машиностроения» (с 1976 г.). Затем он работает доцентом кафедры «Резание и

инструмент» и заведующим кафедрой (1977 г.), заместителем декана (1978 г.) и деканом механико-технологического факультета (с 1979 по 1987 гг.).

Важный период творческой работы приходится на 1987–1992 гг., когда были проведены фундаментальные исследования и написана, а в 1993 г. защищена, докторская диссертация на тему «Тонкое растачивание в структуре технологических операций обработки точных отверстий».

«В диссертации был решен комплекс проблем, связанных с тонким растачиванием отверстий в деталях пониженной жесткости, с проектированием наладок с совмещением различных технологических операций на отделочно-расточных станках. Было предложено управление точностью растачивания отверстий путем изменения подачи резцов, которая обеспечивала компенсацию их размерного износа за счет их же температурного удлинения. В работе параметры упругой динамической системы были впервые напрямую связаны с выходными результатами технологического процесса обработки деталей».

Весомым вкладом в теорию машиностроения стала предложенная П. А. Линчевским «гипотеза о причине возникновения и механизме поддержания автоколебаний в процессе резания, основанная на асимметричном характере силового взаимодействия групп атомов обрабатываемого материала при их взаимном сближении и удалении. На ее основе получены аналитические зависимости для расчета амплитуд автоколебаний, вошедшие в расчетные формулы определения точности обработки и шероховатости поверхности».

С 1994 г. профессор П. А. Линчевский продолжил научные исследования со своими учениками. Под его научным руководством защищены диссертации кандидата технических наук аспирантом С. С. Фотти (1996 г.) на тему «Управление процессом сверления на основе динамической модели предельного износа», инженером Г. В. Новаком (1997 г.) на тему «Повышение эксплуатационных характеристик пар трения двигателя внутреннего сгорания технологическими методами», две докторские диссертации: А. А. Оргияном (2002 г.) на тему «Прогнозирование и обеспечение точности окончательной лезвийной обработки сложнопрофильных и других поверхностей вращения (на примере комплексной обработки поршней)» и Т. Г. Джугуряном (2002 г.) на тему «Технологические основы управления точностью и качеством обработки при прецизионном растачивании».

В соавторстве с докторантами в 2001 году опубликована монография «Обработка деталей на отделочно-расточных станках».

Научные разработки П. А. Линчевского и его учеников направлены на решение проблем тонкой лезвийной обработки. Подвергнуты изучению процессы комплексной отделочной обработки точных сложнопрофильных, как наружных, так и внутренних поверхностей вращения. Результатом этих исследований явилось предложение о совмещении операций лезвийной обработки и пластического деформирования поверхностей с использованием эффекта Баушингера.

Под руководством Павла Адамовича на кафедре сформировалось научное направление, проблемное и актуальное в современном машиностроении, – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА.

Этому направлению посвящен цикл работ, выполненных под руководством П. А. Линчевского сотрудниками кафедры «Технологии машиностроения» доцентами И. М. Буюкли, Б. О. Ткаченко, научным сотрудником академиком Г. В. Новаком, преподавателями кандидатами наук В. Д. Иоргачевым и С. М. Онищенко, аспирантами С. В. Новожиловым, В. М. Колесником и магистром А. Ю. Ивахнюк.

П. А. Линчевским лично и в соавторстве опубликовано 175 научных и научно-методических работ, посвященных теории обработки точных отверстий в деталях машин, вопросам технологической динамики и методам повышения износостойкости деталей. В их числе одиннадцать авторских свидетельств и пять патентов Украины, а так же учебники:

Технология автоматизированного машиностроения: учебник /А. В. Якимов, В. С. Гусарев, П. А. Линчевский и др. – Одесса: ОНПУ, 1997. – 450 с.;

Технологія машино- та приладобудування підручник з грифом МОН / Луцьк: ЛДТУ, 2005. – 710 с.;

Технологія автоматизованого машинобудування: підручник з грифом МОН /А. В. Якимов, В. С. Гусарев, П. А. Линчевский и др. – 6-е видання. – Харків: ГП ХМЗ «ФЭД», 2008. – 410 с.;

Технологія машинобудування: підручник з грифом МОН. – Житомир: ЖДТУ, 2006. – 882 с.;

Технология машиностроения: учебник /А. В. Якимов, П. А. Линчевский, В. П. Ларшин и др. – Одесса: ОНПУ, 2012. – 693 с.;

Методичні вказівки до випускної роботи магістра». – Одеса, 2006. –17 с.;

Методичні вказівки по виконанню дипломного проекту фахівця з технології машинобудування. – Одеса: ОНПУ, 2008. – 76 с.

В 1996 г. П. А. Линчевский избирается членом-корреспондентом, а в 1998 году – действительным членом Академии инженерных наук Украины.

С июля 2000 по ноябрь 2012 года заведует кафедрой технологии машиностроения Института Промышленных Технологий, Дизайна и Менеджмента ОНПУ.

П. А. Линчевский был членом в методической комиссии по машиностроению Министерства образования и науки, членом редакционных коллегий трех сборников: «Вісник Академії інженерних наук України», «Процеси механічної обробки в машинобудуванні» та «Інженерна механіка».

Портрет ученого-машиностроителя профессора П. А. Линчевского был бы недостаточно полным без упоминания хотя бы об основных, кроме науки и образования, направлениях его деятельности.

Многие помнят его как спортсмена, одного из тренеров одесской волейбольной команды «Политехник», как человека, воспитавшего и передавшего свои знания многим выдающимся мастерам спорта. Он до последних дней играл в баскетбол в команде ветеранов Одессы.

В прошлом он один из первых командиров студенческих строительных отрядов. На его личном счету участие в грандиозных стройках начала 1970-х годов: перекрытие реки Зеи в 1972 г., перебазирование жилых поселков из зоны затопления Зейской ГЭС, строительство жилых и промышленных объектов Тюмени и в том числе компрессорных станций газопровода Надым-Урал-Центр.

Последние годы Павел Адамович увлеченно путешествовал по Украине и зарубежным странам. В турне с супругой, иногда с внучкой, он не расставался с фотоаппаратом, делал интересные видовые снимки архитектурных шедевров. Архитектура – это конструкция и технология вместе. Был он также поклонником изобразительного искусства членов Южно-Русского общества свободных художников и, конечно, великого мариниста И. К. Айвазовского.

Павла Адамовича Линчевского отличали целеустремленность, острота ума, искрометный одесский юмор и широкая эрудиция. Эти и другие качества снискали ему известность и уважение в Украине и за ее пределами.

Линчевский П. А. скончался после тяжелой болезни 30.10.2012 г.

P.S. Именно благодаря Павлу Адамовичу была восстановлена галерея портретов великих ученых технологов-машиностроителей на кафедре «Технология машиностроения» в Одесском национальном политехническом университете в 2000 году.

СОДЕРЖАНИЕ

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

Новиков Ф.В., Жовтобрюх В.А. Повышение эффективности механической обработки деталей гидравлических систем	3
Андилахай А.А., Новиков Ф.В. Закономерности формообразования поверхностей мелких деталей при абразивной обработке затопленными струями	9
Дитиненко С.А. Расчет температуры при шлифовании	14
Тищенко Л.Н., Коломиец В.В., Любичева К.М., Фадеев В.А., Клименко С.А., Vijay Kumar Повышение эффективности обработки резанием наплавленных материалов инструментами из ПСТМ	18
Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Пасічний О.О., Кухаренко С.А., Ситник Б.В. Ефективне застосування електричних явищ шліфуванні кругами із покриттям зерен надтвердих матеріалів	21
Гусарев В.С., Ковальчук Е.Н. Структурная модель сборки деталей в конструкции	28
Лебедев В.Г., Клименко Н.Н., Луговская Е.А. Методика экспериментального исследования температуры шлифования непосредственно при обработке детали	34
Новиков Ф.В., Гершиков И.В. Упрощенный подход к расчету температуры шлифования	39
Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Синтез информационных сигналов о состоянии технологической системы	43
Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Теория сигналов о состоянии технологической системы резания	47
Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Диагностика технологической системы фрезерования заготовки с переменной жесткостью	50
Лищенко Н.В., Ларшин В.П. Диагностика технологической системы сверления отверстий малого диаметра	55
Деревянченко А.Г., Волков С.К., Криницын Д.А., Доан Ван Бонг Контроль параметров поверхностных дефектов изношенных резцов на специальном стенде	60
Кленов О.С. Определение силовой напряженности процесса резания при лезвийной обработке и шлифовании	62
Шкурупий В.Г. Формирование поверхностного слоя термохимическим методом и электроосаждением	66
Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков Ф.В. Новая конструкция универсального демпфирующего резца с регулируемой жесткостью	72

Новиков С.Г., Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков Ф.В. Конструкция демпфирующего резца с управляемой жёсткостью	75
Рябенков И.А. Повышение эффективности плоского шлифования	82
Гуцаленко Ю.Г. Рейтинг работоспособности режущих пластин на основе кубического нитрида бора	86
Оргіян О.А., Бажанов О.І., Бензар А.М. Дослідження параметричних коливань при металообробці	92
Андилахай В.А., Новиков Г.В. Определение оптимальных условий обработки при круглом шлифовании	95
Ковальчук А.Н., Бережной Р.А., Нежебовский В.В. Повышение эффективности шлифования внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов	104
Новиков С.Г., Малыхин В.В., Глаголев Р.В., Новиков Ф.В. Выбор параметров шлифования обрабатываемого материала микрорезанием единичным зерном в органической связке	110
Брижан Т.М. Выбор варианта финишной обработки отверстий пневмо- и гидроаппаратуры по критерию минимальной трудоемкости	115
Стрельчук Р.М. Пристрій оптимізації процесу правки шліфувального круга на металевій зв'язці	121
Жовтобрюх В.А. ESPRIT – лучший программный инструмент для производства. Опыт работы в Украине и в России	125
Резник Е.А. Высокоскоростное точение керамикой и CBN от компании TaeguTec	130
Кулик С.Г. Новые возможности ESPRIT-2014. Причины успеха в мире и в Украине	136
Середюк Н.В. Монолитные фрезы TaeguTec нового поколения	141
Азаров А.В. Стратегия и разработка обобщенного алгоритма для автоматизированного проектирования процесса сборки в машиностроении	145

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Власовец В.М., Соколов Р.Г. Определение химического состава свойств чугуна на специальной пробе и в рабочем слое центробежнолитых прокатных валков	150
Сиккульский В.Т., Воронько В.В., Воронько И.А. Метод формообразования панелей крыла самолета	154
Крюк А.Г., Стрелецкий В.В. Повышение эффективности метода непрерывного профилирования давлением листовых материалов	156
Савченко Н.Ф., Третьяк В.В. Некоторые подходы к разработке высокобезопасных импульсных устройств повышенной энергоемкости	158
Тришевський О.І., Салтавець М.В., Бондаренко С.М. Математичне моделювання процесів теплообміну валків з металом і навколишнім середовищем	162

Забара А.С., Плеснецов Ю.А. Повышение эффективности формообразования специальных гнутых профилей замкнутого сечения	167
Тищенко Л.Н., Свиргун О.А., Свиргун В.П. Исследование влияния форм и размеров опорных сегментов резинометаллических подшипников на давление на входных участках	171
Ольшанський В.П., Ольшанський С.В. Про фрикційні автоколювання механічної системи за спрощеної характеристики тертя	174
Бурлака В.В., Малець О.М., Ольшанський В.П. Наближений розрахунок колювань механізмів при спільній дії сил в'язкого і сухого тертя	178
Вернигора А.Р., Савченко Н.Ф. Выбор методов изготовления крупногабаритных деталей типа резервуаров	183
Спольник А.И., Волчок И.В., Калиберда Л.М. Физические аспекты нетрадиционных воспроизводимых источников энергии	185
Малыхин В.В., Новиков С.Г., Глаголев Р.В., Горбатенко С.А., Зайцев С.А. Применение композиционных материалов для повышения эксплуатационной надежности оборудования гидромеханизации	187
Новиков С.Г., Глаголев Р.В., Зайцев С.А., Малыхин В.В. Инженерные разработки для защиты и снижения ущербов от паводков и наводнений ...	192
Сухаренко А.С. Теплопостачання на основі застосування теплових насосних установок	198
Сметаніна А.В. Техніко-економічне обґрунтування технології обробки води ультрафіолетовим випромінюванням	202
Лісова Ю.А. Використання автоматичної системи для відкривання вікон на складі промислового підприємства	206
Савченко М.М., Логвин О.О. Раціональне використання складської площі	210
Коробкова Г.О. Шляхи реконструкції турбогенераторів	213

3. ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Бенин Е.Ю. Повышение экономической эффективности применения на предприятиях новых технологий	217
Новиков Д.Ф. Методика инвестиционного планирования технического перевооружения промышленного предприятия	222
Оспищева А.К. Влияние курса валют на себестоимость процесса металлообработки	226

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Гусарев В.С. Портреты основоположников науки «Технология машиностроения»	229
---	-----

Научное издание

Труды 20-й Международной научно-практической конференции

ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

23–24 декабря 2014 года, г. Харьков

Составили: Новиков Федор Васильевич
Фадеев Валерий Андреевич

Ответственный за выпуск
Жовтобрюх В.А.

Оформление оригинал-макета
Новиков Д.Ф.

Подписано к печати 10.12.2014 г. Формат 60X84 1/18.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 17,03.
Тираж 300. Заказ №26

Отпечатано в типографии “Лира”
49000, г. Днепропетровск, ул. Научная 5
Свидетельство о внесении в Государственный реестр
ДК №188 от 19.09.2000.