

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Выпуск 8

№ 13 (100)

Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г.

2012



Волгоград
2012

Учредитель: ГОУ высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Сборник зарегистрирован в Управлении регистрации и лицензионной работы в сфере массовых коммуникаций федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия ПИ № ФС77–25660 от 13 сентября 2006 г.

Главный редактор сборника «Известия ВолгГТУ»

академик РАН *И. А. Новаков*

Редакционная коллегия серии: д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТМС *Ю. Н. Полянчиков* (научный редактор), г. Волгоград E-mail: techmash@vstu.ru
д-р техн. наук, проф., зав. каф. АПП *Ю. П. Сердобинцев* (зам. научного редактора), г. Волгоград E-mail: app@vstu.ru
д-р техн. наук, проф. РГАТА *В. Ф. Безъязычный*, г. Рыбинск
д-р техн. наук, проф., зав. каф. СиСИТ МГТУ «СТАНКИН» *А. Г. Схиртладзе*, г. Москва
д-р техн. наук, проф. каф. ТМС МГТУ им. Н.Э. Баумана *А. В. Мухин*, г. Москва
д-р техн. наук, проф., первый проректор, зав. каф. ТМС ЛМЗ-ВТУЗ *Ю. М. Зубарев*, г. Санкт-Петербург
д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТМС СГТУ *А. В. Королев*, г. Саратов
д-р техн. наук, проф., ректор ВГИСИ, филиал ВГАСУ *В. М. Шулячер*, г. Волжский
д-р техн. наук, проф., зав. каф. СИ *Ю. И. Сидякин*, г. Волгоград
д-р техн. наук, проф., зав. каф. НГ и ИГ *Г. В. Ханов*, г. Волгоград
д-р техн. наук, проф., руководитель ИЛ ВолГТУ *Е. И. Тескер*, г. Волгоград
д-р техн. наук, проф., проректор МГУПП *М. М. Благовещенская*, г. Москва
д-р техн. наук, проф., первый проректор СевНТУ *Е. В. Пашков*, г. Севастополь, Украина
д-р техн. наук, проф., зав. каф. АБТС МГУПБ *В. И. Попов*, г. Москва
д-р техн. наук, проф., зав. каф. АПП КТУ *С. П. Сердобинцев*, г. Калининград
д-р техн. наук, проф. каф. АПП *А. Л. Плотников*, Волгоград
канд. техн. наук, доц. каф. ТМС *Д. В. Крайнев* (ответственный секретарь), г. Волгоград

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 13(100) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – 136 с. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8).

ISBN 978-5-9948-1074-3

Рассматриваются вопросы, связанные с природой и закономерностями работы режущих инструментов, формированием качественных характеристик поверхностного слоя обработанных деталей, систем автоматизации производственных процессов.

В статье отражаются вопросы, связанные с разработкой и применением прогрессивной оснастки и инструментов, а также систем автоматического управления и контроля.

Ил. 123. Табл. 19. Библиогр.: 276 назв.

ISBN 978-5-9948-1074-3

© Волгоградский государственный
технический университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Агапов С. И., Федянова Н. А., Серов А. С., Вихорев Т. И.</i> Расчет шероховатости поверхности эвольвентных сторон зубьев.....	6
<i>Воронцова А. Н., Терехова А. А.</i> Калибрование на надежность измерительной системы геометрических параметров в трубоэлектросварочном цехе ОАО «Волжский трубный завод».....	8
<i>Егоров Н. И., Курсин О. А., Поляничкова М. Ю.</i> Применение электролитического наводораживания заготовки для изменения типа стружки при резании.....	11
<i>Зайцева Н. Г., Ингеманссон А. Р., Крайнев Д. В., Сергеев А. С.</i> Проблемы управления качеством обработки и моделирование процесса формирования шероховатости поверхности при точении.....	15
<i>Крохалев А. В., Харламов В. О., Кузьмин С. В., Лысак В. И., Авдеюк О. А., Севостьянова А. В.</i> Особенности формирования твердых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном при взрывном прессовании.....	18
<i>Крохалев А. В., Харламов В. О., Кузьмин С. В., Лысак В. И., Авдеюк О. А., Севостьянова А. В.</i> Исследование триботехнических свойств покрытий из порошковых твердых сплавов системы «карбид хрома–титан».....	23
<i>Курченко А. И., Кормилицин С. И.</i> Исследование процесса циклического стружкообразования при точении α -титанового сплава.....	27
<i>Липатов А. А.</i> Влияние неустойчивости стружкообразования и особенностей контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхности твердосплавного инструмента на его изнашивание при точении аустенитной стали.....	30
<i>Липатов А. А., Чигиринский Ю. Л.</i> Оценка режущих свойств твердосплавного инструмента по объемному содержанию фаз.....	34
<i>Маликова Л. А., Ханов Г. В.</i> Представление знаний в системах поддержки принятия решений по выбору конструкции ветроустановок на стадии концептуального проектирования.....	37
<i>Плотников А. Л., Чигиринский Ю. Л., Шмаров А. А., Ключков Д. С.</i> Способы регулирования точности при обработке нежестких валов на токарных станках с ЧПУ.....	39
<i>Поляничков Ю. Н., Ингеманссон А. Р., Крайнев Д. В., Норченко П. А., Бондарев А. А.</i> Физические основы снижения сил резания при обработке с опережающим пластическим деформированием.....	43
<i>Поляничков Ю. Н., Крайнев Д. В., Ингеманссон А. Р., Нгуен Тхань Хунг</i> Повышение эффективности процесса резания труднообрабатываемых коррозионно-стойких сталей при использовании опережающего пластического деформирования.....	47

<i>Полянчиков Ю. Н., Крайнев Д. В., Норченко П. А., Ингеманссон А. Р., Токарев Д. С.</i> К вопросу энергетической эффективности процесса резания коррозионно-стойких сталей с опережающим пластическим деформированием.....	50
<i>Полянчиков Ю. Н., Курсин О. А., Мартус Д. А., Полянчикова М. Ю., Егоров Н. И.</i> Исследование влияния твердости обрабатываемого материала на качество поверхности при хонинговании.....	51
<i>Сергеев А. С., Плотников А. Л., Зайцева Н. Г.</i> Управление качеством металлообработки деталей торцовыми фрезами на автоматизированном станочном оборудовании	54
<i>Солодков В. А.</i> Влияние свойств износостойкого покрытия на работоспособность твердосплавного инструмента при прерывистом резании.....	56
<i>Солодков В. А.</i> Влияние свойств твердосплавной матрицы на работоспособность инструмента при прерывистом резании.....	61
<i>Степанова Н. Г., Голованов В. К.</i> Разработка бескорпусного датчика для измерений усилий в агрессивных средах.....	64
<i>Схиртладзе А. Г.</i> Повышение прочности валов при ремонте.....	67
<i>Схиртладзе А. Г., Быков С. Ю., Схиртладзе С. А.</i> Восстановление работоспособности плашек и метчиков.....	72
<i>Схиртладзе А. Г., Быков С. Ю., Схиртладзе С. А.</i> Восстановление токарных патронов.....	77
<i>Схиртладзе А. Г., Быков С. Ю., Схиртладзе С. А.</i> Технология восстановления сверл.....	78
<i>Схиртладзе А. Г., Тимирязев В. А.</i> Технологичность конструкций технических изделий.....	83
<i>Чигиринский Ю. Л., Фирсов И. В., Орлова Ю. Н.</i> Формализация построения последовательности обработки наружных цилиндрических поверхностей.....	92
 Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Алехин А. Г., Тюленев С. Г.</i> Моделирование производственных систем в пакете прикладных программ MatLab.....	98
<i>Барабанов Г. П., Барабанов В. Г., Бессалов В. А.</i> Рекомендации по созданию автоматизированного оборудования для контроля герметичности газовой аппаратуры на этапе проектирования.....	100
<i>Веселова Е. С., Крылов Е. Г.</i> Оценка погрешностей измерений при контроле качества твердосплавных изделий.....	103
<i>Гданский Н. И., Карпов А. В.</i> Построение гладких траекторий перемещения транспортных средств.....	106
<i>Гданский Н. И., Карпов А. В., Волков А. С.</i> Математическая модель транспортного средства с независимым приводом всех движителей.....	107
<i>Грязнов И. Е., Баринаева И. А.</i> Разработка нейросетевого алгоритма регулирования с помощью языков стандарта МЭК.....	110
<i>Дудкин Е. В., Поступаева С. Г., Симонова И. Э.</i> Оценка работоспособности твердосплавного инструмента и обеспечение надежности автоматического металлорежущего оборудования.....	112
<i>Кухтик М. П., Сердобинцев Ю. П.</i> Стационарная модель температурного поля садки металла в методической толкательной печи.....	114

<i>Макаров А. М., Сердобинцев Ю. П.</i> Синтез рычажно-шарнирных захватных устройств для манипулирования мягкой расфасовочной тарой.....	117
<i>Поляков В. С., Поляков С. В.</i> Моделирование сложных систем с использованием нейроподобных структур.....	119
<i>Поляков В. С., Федченков П. В., Горбушин И. В.</i> Удаление ложных циклов в моделях, построенных с помощью матриц инцидентора.....	122
<i>Чибисов А. В., Яковлев А. А., Сорокин В. С.</i> Разработка экспертной системы синтеза физического принципа действия с использованием модели онтологий.....	126
<i>Яковлев А. А., Чибисов А. В., Позднякова П. Е., Чурсина С. В.</i> Разработка технического решения автоматизированного устройства для охлаждения зоны резания на основе модели физического принципа действия.....	129
<i>Яцук В. М., Залипаева О. А.</i> Оптимальное управление абсорбционной колонной.....	132
<i>Яцук В. М., Залипаева О. А.</i> Экспериментальное определение переходных функций объектов регулирования.....	134

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9.079:621.892

С. И. Агапов, Н. А. Федянова, А. С. Серов, Т. И. Вихорев

РАСЧЕТ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ СТОРОН ЗУБЬЕВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: stanki@vstu.ru

Предложена математическая модель, позволяющая прогнозировать шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев колес, нарезанных зубофрезерованием и зубодолблением в зависимости от скорости резания и подачи в производственных условиях.

Ключевые слова: зубонарезание, шероховатость поверхности.

The mathematical model allowing to predict a roughness of evolventny surfaces of teeth of wheels cut by a milling and slotting depending on speed of cutting and giving under production conditions is offered.

Keywords: milling and slotting of teeths of a cogwheel, surface roughness.

Шероховатость обработанных поверхностей зубчатых колес формируется под влиянием ряда факторов: скорости резания, подачи, износа режущего инструмента, жесткости технологической системы, твердости материала инструмента и заготовки и их физико-механических свойств [1,2,3].

При обработке резанием в некоторые моменты времени под действием усилий, прижимающих слои металла к поверхности инструмента, и высоких температур, возникающих в зоне резания, инструмент захватывает частицы металла с поверхности заготовки и либо вырывает их, либо скалывает. Эти слои, которые непрерывно изменяют свои размеры и очертания,

в результате шероховатость поверхности претерпевает значительные изменения [4,5].

Важным вопросом при нарезании мелкодульных зубчатых колес является количественное снижение шероховатости эвольвентной поверхности зубьев на различных режимах обработки [1,2,3]. Для удобства построения зави-

симостей введем коэффициент $q = \frac{Ra_{\text{без УЗК}}}{Ra_{\text{с УЗК}}}$.

Результаты экспериментов Ra при зубофрезеровании с применением ультразвуковых колебаний и без применения ультразвуковых колебаний в зависимости от скорости резания и обрабатываемого материала приведены в таблице.

Зависимость шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колеса от скорости резания при зубофрезеровании

Параметры, обрабатываемый материал	Вид обработки	Шероховатость, Ra, мкм			
		Скорость резания, м/с			
		0,48	0,52	0,66	0,84
$m = 0,8$ мм сталь 40Х	без УЗК	1,16	1,1	1,08	1,0
	с УЗК	0,64	0,60	0,52	0,45
$q_{0,8}$	–	1,81	1,83	2,07	2,22
$m = 1,2$ мм сталь 40Х	без УЗК	1,74	1,58	1,46	1,16
	с УЗК	0,94	0,85	0,68	0,52
$q_{1,2}$	–	1,81	1,86	2,15	2,23
$q_{\text{сред}}$	–	1,81	1,85	2,11	2,22
$m = 0,8$ мм сталь ОХН1М	без УЗК	1,0	0,94	0,92	0,84
	с УЗК	0,48	0,44	0,36	0,29
$q_{1,2}$	–	2,08	2,14	2,55	2,89

Как видно из сравнения величин $q_{0,8}$ и $q_{1,2}$, модуль зубчатых колес при изготовлении указанных колес из стали 40X практически не оказывает влияния на шероховатость поверхностей, поэтому кривая строилась по средним значениям.

На основании данных, приведенных в таблице, построим график зависимости снижения шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой от скорости резания при зубофрезеровании (рис. 1).

Как видно из данного графика, наибольший эффект получен при ультразвуковой обработке с большей скоростью резания, то есть зубонарезание выгоднее производить на максимально возможных скоростях резания, что позволит получать эвольвентные поверхности зубьев колес с пониженной шероховатостью при одновременном повышении производительности труда [6,7].

Зависимость q от скорости резания в диапазоне от 0,48 до 0,84 м/с при $m = 0,8-1,2$ мм, $S = 0,5$ мм/об имеет вид:

$$q = -3,9 \cdot V^2 + 6,5 \cdot V - 0,48 \text{ для стали 40X,}$$

$$q = -2,6 \cdot V^2 + 5,6 \cdot V \text{ для стали ОХН1М,}$$

где V – м/с.

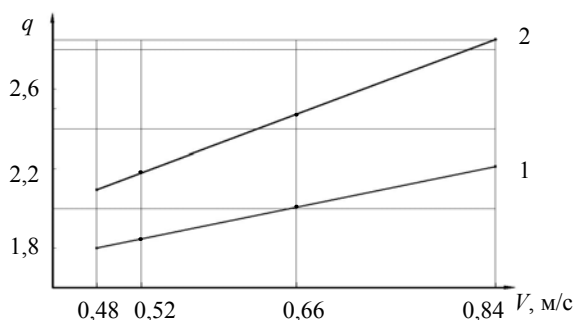


Рис. 1. Зависимость снижения шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой от скорости резания при зубофрезеровании. Инструмент – фреза Р6М5, $S = 0,5$ мм/об – встречная подача: 1 – сталь 40X; 2 – сталь ОХН1М

Аналогично построим график зависимости снижения шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой от подачи (рис. 2).

Зависимость q от подачи в диапазоне от 0,35 до 0,75 мм/об при $V = 0,32$ м/с имеет вид:

$$q = S + 1,5,$$

где S – мм/об.

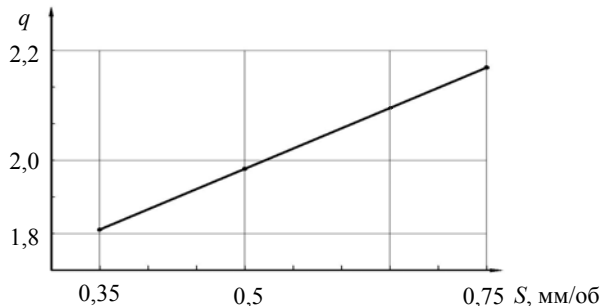


Рис. 2. Зависимость снижения шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой от подачи при зубофрезеровании. Заготовка – сталь 40ХН, инструмент – червячно-модульная фреза Р6М5, $V = 0,32$ м/с

На основании данных графика $R = f(V, S)$ определим зависимость снижения шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой от скорости резания и подачи при зубодолблении (рис. 3).

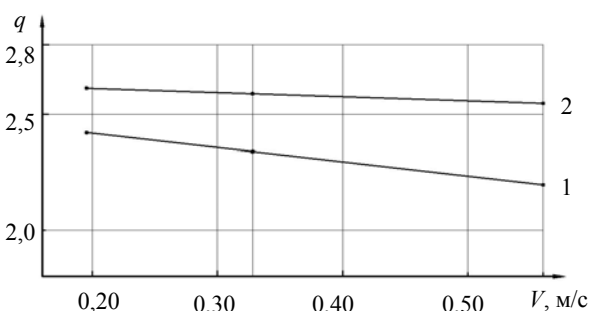


Рис. 3. Зависимость снижения шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой от скорости резания в диапазоне круговых подач от 0,063 до 0,16 мм/дв.ход. при зубодолблении. Инструмент – Р6М5, заготовка – сталь 40X: 1 – $S = 0,063$ мм/дв.ход; 2 – $S = 0,16$ мм/дв.ход

Зависимость q от скорости резания в диапазоне скоростей от 0,19 до 0,56 м/с и диапазоне круговых подач от 0,063 до 0,16 мм/дв.ход имеет вид:

$$q_{0,063} = -0,432V + 2,462;$$

$$q_{0,16} = -0,106V + 2,610.$$

Обобщенная зависимость имеет вид:

$$q = 1,525 \cdot S - 0,108 \cdot S + 0,227 \cdot V \cdot S + 2,462.$$

Фактическая шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев колес по сравнению с традиционной обработкой определяется зависимостью $Ra_{\text{с уЗК}} = Ra_{\text{без уЗК}} \cdot q$, тогда шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес нарезанных зубофрезерованием в зависимости от скорости резания и подачи имеет вид:

$$Ra_{c \text{ УЗК}} = Ra_{\text{без УЗК}} (-3,9 \cdot V^2 + 6,5 \cdot V - 0,48) -$$

для стали 40Х,

$$Ra_{c \text{ УЗК}} = Ra_{\text{без УЗК}} (-2,6 \cdot V^2 + 5,6 \cdot V) -$$

для стали ОХН1М,

$$Ra_{c \text{ УЗК}} = Ra_{\text{без УЗК}} (S + 1,5) - \text{ для стали 40ХН.}$$

Шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев колес, нарезанных зубодолблением в зависимости от скорости резания и круговой подачи, имеют вид:

$$Ra_{c \text{ УЗК}} = Ra_{\text{без УЗК}} (1,525 \cdot S - 0,108 \cdot S +$$

$$+ 0,227 \cdot V \cdot S + 2,462) - \text{ для стали 40Х.}$$

На все полученные зависимости разработаны программы [7,8]. Применение полученных зависимостей позволит прогнозировать шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев колес, нарезанных зубофрезерованием и зубодолблением, в зависимости от скорости резания и подачи в производственных условиях [9,10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Агапов, С. И.* Повышение эффективности механической обработки путем применения ультразвука: монография / С. И. Агапов, В. В. Головкин. – Самара: Изд-во СНЦ, 2010. – 134 с.
2. *Агапов, С. И.* Нарезание зубчатых колес с использованием ультразвука: монография / С. И. Агапов, Ю. И. Сидякин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 148 с.
3. *Агапов, С. И.* Обеспечение параметров шероховатости поверхности при ультразвуковом резании / С. И. Агапов, О. Ф. Корпелянский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, – 2007. – Вып. 3. – С. 9–15.
4. *Агапов, С. И.* Основные показатели преимущества резания с использованием ультразвука / С. И. Агапов, Ю. И. Сидякин, С. П. Солтан // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, – 2008. – Вып. 4. – С. 42–44.
5. *Суслов, А. Г.* Технологическое обеспечение параметров шероховатости поверхности деталей машин при обработке лезвийным инструментом / А. Г. Суслов // Вестник машиностроения. – 1988. – Вып. 1. – С. 40–42.
6. Анализ возможностей введения ультразвуковых колебаний в зону резания / Н. Я. Смольников, С. И. Агапов, Н. А. Федянова, О. Ф. Корпелянский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 47–50.
7. Пат. 2379737 РФ, МПК G 05 В 19/18. Способ поддержания предельно допустимых технологических режимов / С. И. Агапов, С. Ю. Сидякина, О. Ф. Корпелянский; ВолгГТУ. – 2010.
8. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010611507 от 19 февр. 2010 г. РФ. Определение предельно допустимых технологических режимов / С. И. Агапов, О. Ф. Корпелянский, М. С. Кунавин, Ю. И. Сидякин; ВолгГТУ. – 2010.
9. *Сидякин, Ю. И.* Обеспечение параметров шероховатости поверхности заготовок при ультразвуковом резании / Ю. И. Сидякин, С. И. Агапов, О. Ф. Корпелянский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 40–42.
10. *Агапов, С. И.* Определение остаточных напряжений при обработке деталей с введением ультразвуковых колебаний в зону резания / С. И. Агапов, Н. Я. Смольников, Н. А. Федянова, С. П. Солтан // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 5–7.

УДК 531.7

А. Н. Воронцова, А. А. Терехова

КАЛИБРОВАНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНОМ ЦЕХЕ ОАО «ВОЛЖСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД»

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: terehova-aa@yandex.ru

Предложена методика оценки измерительной системы на надежность. Данная методика была протестирована на примере системы измерений в трубоэлектросварочном цехе ОАО «Волжский трубный завод». Показано, что оцениваемая измерительная система является ненадежной, что не позволяет применять единую систему статистических методов для анализа качества процессов производства труб.

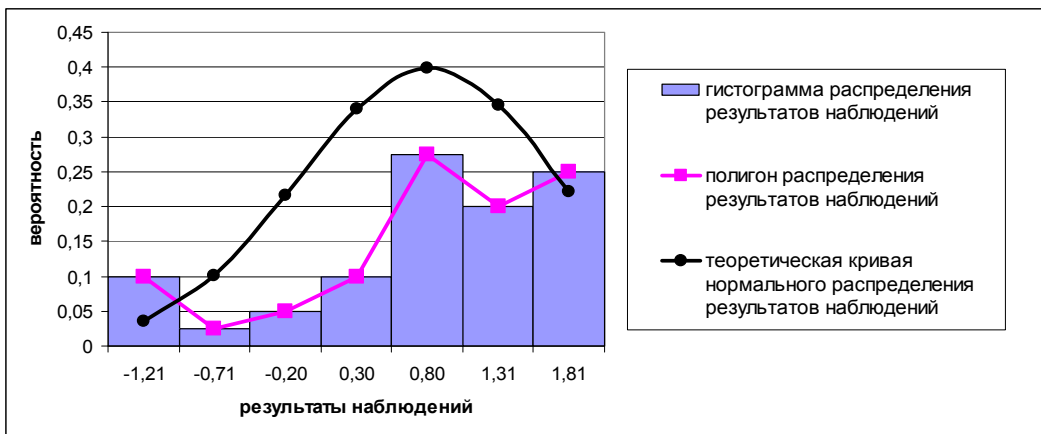
Ключевые слова: качество продукции, закон распределения, критерий согласия, надежность системы измерений, сходимость результатов измерений, воспроизводимость результатов измерений.

The method for assessing the reliability of the measurement system proposed. This method was tested on the measurement system in pipe electric welding shop of «Volga Pipe Plant.» It is shown that the estimated measurement system is unreliable, that does not allow to use a unified system of statistical methods for analyzing the quality of the pipe production processes.

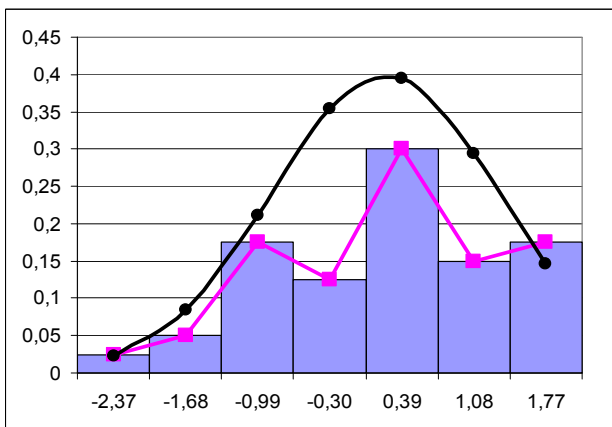
Keywords: quality of products, distribution law, goodness-of-fit test, reliability of the measurement system, convergence of the results of measurements, reproducibility of the measurements.

Любая организация, заинтересованная в выпуске конкурентоспособной продукции, проводит мониторинг и измерение качества продукции и производственных процессов, для чего на предприятии разрабатываются и внедряются измерительные системы. К ним предъявляется целый ряд требований, связанных с конкретизацией контролируемых характеристик, но одно требование остается неизменным – это требование обеспечения надежности результатов измерений [1]. Надежность в данном случае понимается как

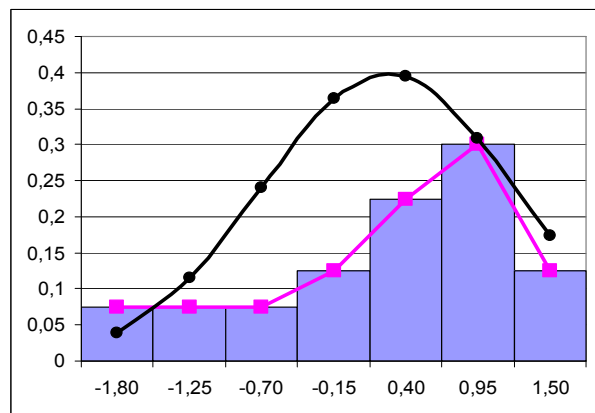
гарантия, что результаты измерений являются стабильными, то есть повторяемыми и воспроизводимыми в течение заданного промежутка времени. Для оценки стабильности производят калибрование (или поверку) средств измерений на точность и калибрование результатов измерений на сходимость и воспроизводимость. Поскольку при техническом контроле в общем случае специально не выделяется погрешность измерения, то дальнейшие рассуждения относятся к суммарной погрешности изготовления и измерения [2].



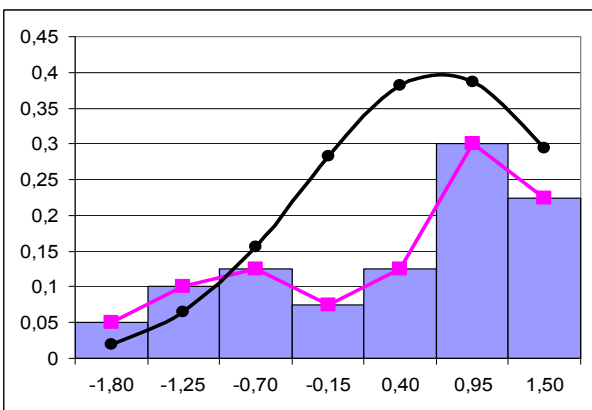
a



б



в



з

Применение графического метода для установления закона распределения для следующих показателей качества труб: отклонение по телу продукции с 1-го (a) и 2-го (б) станов; диаметральное отклонение на конце двух труб с 1-го (в) и 2-го (з) станов

Исследования проводились в трубоэлектросварочном цехе ОАО «Волжский трубный завод», выпускающем электросварные прямошовные и спиралешовные трубы диаметром 530–1420 мм. При производстве труб в цехе контролируются геометрические параметры: диаметры в начале (d_1), конце (d_2) и середине трубы (отклонение по телу – d_3). Для исследования были отобраны трубы с диаметром 1420 мм.

Для проведения тестирования, прежде всего, необходимо выбрать модель, измеряемые параметры которой соответствуют свойствам изучаемого объекта. Было сделано предположение о нормальном распределении погрешностей перечисленных параметров и определен объем выборки $n = 40$.

В цехе используются две группы станков: станы с фрезерной установкой для обработки боковых кромок штрипса с различной геометрией разделки и станы, оснащенные традиционными гидравлическими ножницами. Поэтому исследовались результаты замеров по стану № 1 с фрезерной установкой и по стану № 2, оснащенный гидравлическими ножницами.

Для проверки правильности предположения о нормальном распределении результатов измерений был применен метод гистограмм.

Анализируя графический материал, представленный на рисунке, можно предположить, что распределение результатов наблюдений не подчиняется нормальному закону. Для проверки этого предположения с необходимой точностью были использованы критерии согласия Пирсона и Колмогорова, которые подтвердили несоответствие распределения всех исследуемых параметров нормальному закону [3]. Поэтому все дальнейшие расчеты проводились из условия, что модель распределения погрешностей неизвестна.

По каждой группе результатов наблюдений были выявлены промахи, которые исключались из дальнейшего исследования. Также был проведен анализ изменяющейся во времени систематической погрешности. Наличие постоянно возрастающей или убывающей погрешности проверялось посредством критерия Аббе [4]. Соответствующие расчеты показали, что существенно возрастающие (убывающие) систематические погрешности отсутствуют по всем исследуемым параметрам.

По значениям случайных погрешностей измерений могут оцениваться сходимость и воспроизводимость результатов измерений: схо-

димость, для результатов измерений, выполненных в одинаковых условиях (измерялись одни и те же параметры, полученные с каждого стана в различные месяцы), и воспроизводимость (измерялись одни и те же параметры, но полученные на различных станах).

В общем случае сходимость группы результатов измерений характеризуют стандартным отклонением результата группы или его доверительной случайной погрешностью, а воспроизводимость нескольких групп – близостью измерений групп и характеристик их случайных погрешностей [5].

При неизвестном распределении для проверки близости результатов измерений (сходимости) применяют критерий Вилкоксона, а для проверки допустимости различия стандартных отклонений (воспроизводимости) – критерий Сиджела – Тьюки [6].

Методика использования критерия Вилкоксона следующая. Выбирают две анализируемые выборки, измеряемые параметры в которых обозначены через x_1, \dots, x_n и y_1, \dots, y_m , $n \geq m \geq 5$, и составляют вариационный ряд, в котором все $(n+m)$ значений $x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_m$ располагают в порядке их возрастания и приписывают им ранги – порядковые номера членов вариационного ряда. Различие средних допустимо, если выполняется неравенство:

$$T_q^- < \sum_{i=1}^n R_i < T_q^+, \quad (1)$$

где R_i – ранг x_i , равный его номеру в вариационном ряду; T_q^-, T_q^+ – нижнее и верхнее критические значения, определяемые по формулам:

$$T_q^- = \frac{n \cdot (n + m + 1)}{2} - z_{p/2} \cdot \sqrt{\frac{mn \cdot (n + m + 1)}{12}}, \quad (2)$$

$$T_q^+ = \frac{n \cdot (n + m + 1)}{2} + z_{p/2} \cdot \sqrt{\frac{mn \cdot (n + m + 1)}{12}}, \quad (3)$$

где $z_{p/2}$ – квантиль нормированной функции Лапласа.

Согласно критерию Сиджела–Тьюки, рассеивание стандартных отклонений групп допустимо, если выполняется неравенство:

$$T_q^- < \sum_{i=1}^n R_i < T_q^+, \quad (4)$$

где R_i – ранг, определяемый следующим образом. В вариационном ряду из $(n+m)$ значений x и y ранг 1 приписывают наименьшему значению, ранг 2 – наибольшему значению, ранг 3 –

предыдущему наибольшему значению, ранг 4 – второму после наименьшего значения, ранг 5 – третьему после наименьшего значения, ранг 6 – третьему перед наибольшим значением и т. д. Критические значения определялись по таблицам [6].

Расчеты показали, что все анализируемые сочетания выборок не соответствуют требованиям неравенств (1) и (4). Таким образом, оцениваемая измерительная система является ненадежной, так как результаты измерений признаны несходимыми и невоспроизводимыми. Данный результат оценки надежности измерительной системы говорит о том, что статистическое регулирование исследуемых технологических процессов по геометрическим параметрам невозможно в существующих условиях. Для успешного применения статистических методов необходимо привести технологические процессы в стабильное (сходимое и воспроизводимое) состояние.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеева, Д. В. Отечественное машиностроение: проблемы и тенденции начала XXI века / Д. В. Моисеева, А. А. Емельяненко // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 18–20.
2. Анализ измерительных систем – Measurement System Analyses (MSA) [Электронный ресурс]. – [2011]. – Режим доступа: <http://www.prostokachestvo.ru> – Актуально на 15.09.2011
3. Елисеева, И. И. Общая теория статистики: учеб. / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев; под ред. И. И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.
4. Теория измерений в производственном контроле: учеб. пособие / А. Н. Воронцова [и др.]; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 94 с.
5. Чигиринский, Ю. Л. Методика статистического оценивания надежности процесса / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 53–56.
6. МИ 2091–90. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения физических величин. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 16 с.

УДК 621.791.019:669.788

Н. И. Егоров, О. А. Курсин, М. Ю. Полянчикова

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАВОДОРАЖИВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТИПА СТРУЖКИ ПРИ РЕЗАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

(e-mail: egorov_ni@mail.ru)

Проведены исследования режима электролитического наводораживания заготовок на заданную глубину проникновения диффузионного водорода. Результаты исследований предложено использовать для изменения типа стружки при резании металла.

Ключевые слова: диффузия, водород, твердость, хрупкость, стружка, резание.

The investigations of electrolytic hydrogenation treatment of work pieces to a predetermined depth of penetration to the diffusive hydrogen are conducted. The results of the investigations can be used to change the shavings type in metal cutting.

Keywords: diffusion, hydrogen, hardness, brittleness, shaving, cutting.

В машиностроении существует проблема хранения, транспортирования и утилизации выходящей стружки. Транспортирование выходящей металлической стружки от станков, вывоз из металлообрабатывающих цехов, хранение для сдачи на переплавку неэкономичны, так как полезный объем транспортных средств используется не в полной мере. Для решения этой проблемы создаются специальные подразделения по измельчению выходящей стружки с целью уменьшения объема металлолома при складировании и транспортировке металлических отходов перед переплавкой на металлургических заводах.

При резании металлов с разными физико-механическими свойствами образуются три вида стружки: сливная, скалывания и надлома. Сливная стружка образуется при резании пластичных металлов. Стружка скалывания (элементная) образуется при обработке металлов средней твердости. Эта стружка вьется и имеет зазубрины. Стружка надлома образуется при обработке хрупких металлов и состоит из отдельных элементов, не связанных между собой.

Для перевода выходящей стружки в стружку надлома необходимо поверхностный слой припуска заготовки перевести в хрупкое состояние путем насыщения его диффузионным водородом.

дом. Водородное охрупчивание поверхностного слоя заготовки можно осуществить путем электролитического насыщения диффузионным водородом [1]. Повышение твердости при наводороживании сопровождается снижением ударной вязкости, пластических и прочностных свойств металлов. Водород значительно понижает пластичность стали, если его содержание в металле превышает $2 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Для исключения вредного влияния водорода на эксплуатационные свойства детали после обработки не-

обходимо, чтобы водородное охрупчивание проявлялось в пределах припуска на обработку. Для определения глубины проникновения водорода в металл необходимо определить коэффициент диффузии водорода для различных сталей.

Определение D_H производили по методу десорбции в вакуум [2]. Перед испытанием образцы насыщали водородом в специальной электролитической ячейке с платиновым анодом (рис. 1, а).

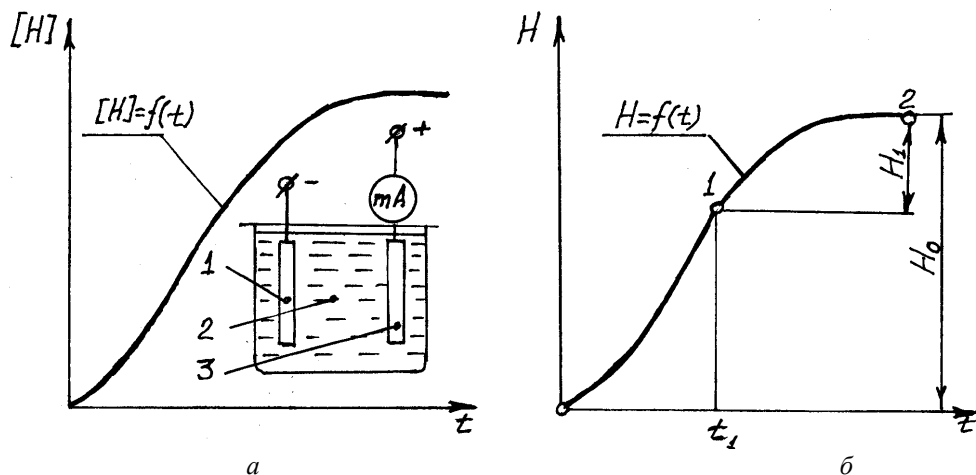


Рис. 1. График зависимости концентрации водорода от времени:

а – электролитическое наводороживание и схема электролитической установки; б – измерение кинетики десорбции водорода; $[H]$ – концентрация растворенного в образце водорода; H – количество выделившегося из образца газообразного водорода; t – время; H_0 – начальное количество водорода в образце; H_1 – оставшееся количество водорода в образце ко времени t_1 ; 1 – образец; 2 – электролит; 3 – платиновый анод

В качестве электролита использовали $0,1 \text{ н. р-р } \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5 \text{ г/литр}$ тиомочевины. Плотность тока наводороживания составляла $0,75 \text{ мА/см}^2$. Измерение кинетики десорбции водорода в вакуум, производили в вакуумной установке (рис. 1, б). Для исследования параметров выхода растворенного водорода из металла использовалась вакуумная установка для газового анализа при различных температурах (рис. 2) [3]. При создании установки использовались узлы эксхолографа швейцарской фирмы «Бальцерс». В верхней части установки располагается капсульная печь 1. Графитовая капсула 2 выполняет функции тигля и нагревается проходящим электрическим током.

Пока печь открыта, работает форвакуумный насос 3 (рис. 2) и в системе создается предварительный вакуум. Когда печь закрывается, автоматически включается газосборочный насос 4 и в печи создается вакуум $8 \cdot 10^{-3} \text{ мм. рт. ст.}$ По истечению времени предварительной откачки (60

с) электромагнитный клапан V_2 закрывается, включается нагрев печи, и образец нагревается до исследуемой температуры. Электрической схемой предусмотрено как плавное, так и ступенчатое регулирование тока в пределах $3\text{--}30 \text{ А}$, что соответствует нагреву тигля до температуры $100\text{--}2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Выделившиеся газы отсасываются газосборочным насосом 4 и транспортируются в газосборник 5. После окончания нагрева клапаны V_1 и V_8 закрываются и открываются клапаны V_4 и V_7 . Газоноситель (Ar) из баллона через редуктор, захватывая собранную газовую смесь, транспортирует ее на хроматограф 6 (ЛХМ–8МД), где измеряется количество водорода. Клапан V_8 служит для выравнивания потоков газа через рабочую и сравнительную колонки хроматографа в период экстракции газа из образца. Клапан V_3 служит для нарушения вакуума после анализа, когда открывается крышка печи для загрузки следующего образца.

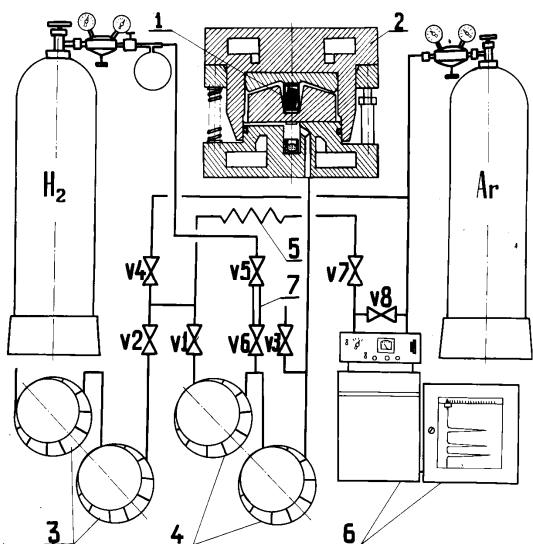


Рис. 2. Принципиальная схема вакуумной установки для анализа экстрагированного газа:

1 – образец; 2 – вакуумная печь; 3 – насос форвакуумный насос; 4 – газосборочный; 5 – газосборник; 6 – газовый хроматограф; 7 – калиброванный объем

По данным скорости выхода водорода вычислялся коэффициент диффузии водорода D_H по формулам [3]:

а) для цилиндрических образцов:

$$D_H = \frac{R^2}{\mu_i^2 t_1} \ln \frac{H_0}{H_1}, \quad (1)$$

где R – радиус образца; $\mu_i^2 = 5,78$; H_0 – начальное количество водорода в образце; H_1 – оставшееся количество водорода ко времени t_1 .

б) для плоских образцов:

$$D_H = \frac{4h^2}{\pi^2 t_1} \ln \frac{8H_0}{\pi^2 H_1} \quad (2)$$

где $2h$ – толщина образца.

Произведены исследования D_H для сталей различного химического состава. Исследовались, стали Ст3, 14X2H3MA, 18X2H3MA, 18X2H4MA, 08X15H5Д2Т, АК45, 40ХН и X16H25M6АФ (рис. 3). Исследуемые стали относятся к феррито-перлитному, перлитному, бейнитному, мартенситостаряющему и аустенитному структурным классам.

Ниже 100 °С отмечен перегиб, связанный с несовершенствами структуры. В области α -структуры отмечено резкое изменение характера зависимости от химического состава стали. Можно отметить существенное различие D_H при температуре 400 и 200 °С. В зависимости от химического состава стали изменяется и общий характер зависимости. С увеличением общего количества легирующих элементов зна-

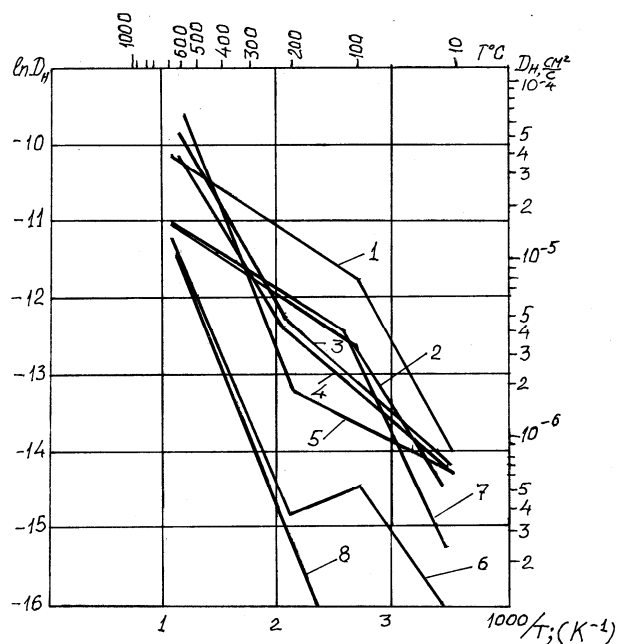


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента диффузии водорода для сталей:

1 – Ст-3; 2 – 18X2H3MA; 3 – 18X2H4MA; 4 – 142H3MA; 5 – АК 45; 6 – 08X15H5Д2Т; 7 – 40ХН; 8 – X16H25M6АФ

чение D_H уменьшается для соответствующих температур.

Коэффициент диффузии для исследованных сталей бейнитного класса, который при комнатной температуре находится на одном уровне, приведен в таблице.

Для сталей бейнитного класса различного химического состава в α -области температурная зависимость D_H имеет различный характер. Причем характер зависимости отличается от аналогичной зависимости у сталей феррито-перлитного и бейнитного класса. Это, по-видимому, можно объяснить закалочными явлениями в области ниже полиморфного превращения, которые не доходят до завершения, что приводит к смешанной бейнитной структуре при комнатной температуре.

По приведенным результатам температурной зависимости коэффициента диффузии для сталей различных структурных классов можно рассчитать необходимое время выдержки t_H электролитического наводороживания на глубину операционного припуска по формуле:

$$t_H \geq 0,280 \frac{Z^2}{D_H}; \text{ с,}$$

где Z – номинальный (расчетный) операционный припуск, см; D_H – коэффициент диффузии водорода при температуре наводороживания, $\text{см}^2/\text{с}$.

Параметры температурной зависимости коэффициента диффузии водорода $D_H = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{T}\right)$,

где T – термодинамическая температура, К

Марка стали	$T > 200-100$ °C		$T < 200-100$ °C	
	D_0	Q	D_0	Q
Ст3	$1,07 \cdot 10^{-4}$	990	$3,51 \cdot 10^{-2}$	3080
18X2H3MA	$6,13 \cdot 10^{-5}$	1110	$8,67 \cdot 10^{-4}$	2220
18X2H4MA	$1,11 \cdot 10^{-3}$	2720	$5,28 \cdot 10^{-5}$	1150
14X2H3MA	$5,53 \cdot 10^{-4}$	2430	$4,54 \cdot 10^{-5}$	1230
AK-45	$5,63 \cdot 10^{-3}$	3750	$8,72 \cdot 10^{-6}$	730
08X15H5Д2Т	$5,06 \cdot 10^{-4}$	3590	$1,01 \cdot 10^{-4}$	1980
40ХН	$6,44 \cdot 10^{-5}$	1070	$6,34 \cdot 10^{-2}$	3750
X16H25M6АФ	$5,26 \cdot 10^{-4}$	3370	$5,26 \cdot 10^{-4}$	3370

Например, для стальной детали $\varnothing 50$ мм из стали 40ХН при температуре $T = 80$ °C коэффициент диффузии водорода равен $D_H = 3,83 \cdot 10^{-6}$ см²/с. Тогда необходимое время наводороживания при номинальном операционном припуске $Z = 2$ мм будет равно.

$$t_H \geq 0,280 \frac{0,2^2}{3,83 \cdot 10^{-6}} = 2924 \text{ с, или 49 мин.}$$

Методика электролитического наводороживания и схема установки приведены выше (рис. 1, а).

Приведенные результаты [4] можно использовать для технологических рекомендаций по получению стружки надлома для уменьшения затрат на хранение и транспортировку металлолома от металлообрабатывающих цехов без отрицательного воздействия водорода.

Выводы

1. Для получения стружки надлома при резании сталей, и снижения себестоимости хранения и транспортировки стружки предложено вместо дорогостоящего механического измельчения вьющейся стружки применять электролитическое наводороживание заготовок.

2. Для исключения вредного влияния водорода на эксплуатационные свойства детали электролитическое наводороживание заготовок проводить на глубину операционного припуска на обработку.

3. Для определения глубины наводороживания проведено измерение коэффициента диффузии водорода для различных сталей.

4. Приведена формула, методика и пример расчета времени электролитического наводороживания на глубину операционного припуска для получения стружки надлома при резании сталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров, Н. И. Определение времени катодного наводороживания для снижения высоты неровностей обрабатываемой поверхности / Н. И. Егоров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 12–15.

2. Егоров, Н. И. Исследование эффективного коэффициента диффузии водорода в условиях термического цикла сварки / Н. И. Егоров, А. А. Емельяненко // Сварочное производство. – 2011. – № 8. – С. 12–17.

3. Егоров, Н. И. Исследование параметров процесса перехода остаточного водорода в диффузионный на стадии нагрева термического цикла сварки / Н. И. Егоров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»; вып. 3). – С. 144–146.

4. Полянчиков, Ю. Н. Особенности получения однокомпонентного абразивного инструмента при послыйном смешивании исходных составляющих / Ю. Н. Полянчиков, А. Л. Плотников, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 42–44.

УДК 621.9.015

*Н. Г. Зайцева, А. Р. Ингеманссон, Д. В. Крайнев, А. С. Сергеев***ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАБОТКИ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ****Волгоградский государственный технический университет**E-mail: techmash@vstu.ru

Проанализированы существующие методики прогнозирования шероховатости обработанной поверхности при токарной обработке, разработана формула для расчета среднего арифметического отклонения профиля Ra при точении коррозионно-стойких сталей.

Ключевые слова: математическая модель, шероховатость, точение, опережающее пластическое деформирование (ОПД), коррозионно-стойкая сталь.

Existing techniques of prediction of the machined surface roughness definition at turning are analyzed, formula for calculating the arithmetic mean deviation of profile for the turning of stainless steels is developed.

Key words: mathematical model, roughness, turning, advancing plastic deformation (APD), stainless steel.

На современном уровне развития машиностроения вопрос управления качеством выпускаемых изделий является одним из приоритетных. Важно заранее планировать и прогнозировать качество обработки поверхностей выпускаемых деталей.

С развитием техники все большее применение находят материалы, обладающие специальными свойствами. Примером таких материалов являются коррозионно-стойкие стали, которые широко используются в различных отраслях промышленности: энергетическом, химическом, транспортном, атомном машиностроении и др.

Коррозионно-стойкие стали традиционно относятся к классу труднообрабатываемых материалов. Механическая обработка коррозионно-стойких сталей характеризуется низким качеством получаемых поверхностей, повышенным износом инструмента, и, как следствие, вынужденным занижением режимов резания, поэтому исследования в этой области представляют значительную ценность для практики механической обработки.

Одним из способов повышения эффективности процесса обработки коррозионно-стойких сталей является способ резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности, который вмещает в себе два приема – поверхностное пластическое деформирование, создающее необходимые глубину и степень наклепа, и последующий сьем предварительно деформированного металла в виде стружки. Применение ОПД обеспечивает комплексное повышение эффективности процесса точения. Однако отсутствие на сегодняшний день математических

зависимостей и методик, позволяющих определить улучшение параметров микрогеометрии обработанной поверхности при использовании ОПД и внести соответствующие коррективы в базовый технологический процесс, в том числе на этапе проектирования, является существенным препятствием для успешного применения способа точения в практике механической обработки.

В задаче управления качеством поверхностного слоя деталей машин при обработке резанием актуальным направлением является разработка моделей, адекватно отражающих процесс формирования шероховатости обработанной поверхности. При разработке моделей перспективной является задача выявления не обособленного влияния входных параметров обработки, а их совокупного воздействия на процесс формирования новой поверхности. Следовательно, учету подлежат различные факторы, определяющие характер протекания физических процессов в зоне резания. В качестве входной информации следует учитывать теплофизические и физико-механические свойства инструментального и обрабатываемого материалов, режимы резания, характер технологической среды и др.

При проведении литературного анализа был обнаружен ряд математических зависимостей, описывающих формирование шероховатости поверхности для разных сталей. В справочнике [1] для полустогового и чистогого точения сталей (Ст3, 20,45,70) рекомендована следующая формула:

$$Ra = k_0 \cdot \frac{s^{k_1} (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{r^{k_2} \cdot v^{k_3}}. \quad (1)$$

Для получистового и чистового растачивания стали 40X предложена зависимость:

$$Ra = 76,2 \frac{s^{0,57} v^{0,03} j_{ст}^{0,04}}{10^{0,04} t^{0,08} r^{0,2} \alpha^{0,34} (50 + \gamma)^{0,35}} \quad (2)$$

В формулах (1) и (2): r – радиус при вершине резца, мм; γ , α – передний и задний углы резца, град.; s – подача, мм/об; t – глубина резания, мм; v – скорость резания, м/мин; $j_{ст}$ – жесткость станка, Н/мм; k_0 , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – поправочные коэффициенты.

В работе С. П. Семенова [2] приведена формула для оценки шероховатости поверхности при тонком растачивании резцами из твердых сплавов Т15К6, Т30К4 деталей из сталей 35, 40, 45, 50, 40X, 45X и серых чугунов:

$$Ra = \frac{t^{0,16} \cdot s^{0,45} \cdot \phi_1^{0,82}}{v^{0,49} \cdot r^{0,25}} \quad (3)$$

где t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об; ϕ_1 – вспомогательный угол в плане, град.; v – скорость резания, м/с; r – радиус сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок, мм.

$$Rz = \left(\frac{0,6625 a_1^{0,125} cr \theta_0 \left(4,3 \sin^{0,115} \alpha V_0^{0,57} a_1^{0,345} \lambda \left(\frac{t}{m} \right)^{0,3} + \lambda_p \varepsilon \beta a^{0,57} r_1^{0,075} \right)}{\tau_p a^{-0,43} \sin^{0,025} \alpha V_0 \lambda t^{0,26} m^{0,49-n_0} c_0 b^{0,04} r_1^{n_0-0,1} (1 - 0,45 \sin \gamma)} \right)^{\frac{2}{1-n_0}} \frac{1}{8r} \quad (5)$$

где a_1 – толщина среза, являющаяся функцией подачи, мм; t – глубина резания, мм; θ_0 – температура в зоне резания, °C; V – скорость резания, м/с; λ , λ_p – коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов, дж/м·с·град; γ , α – передний и задний углы резца, град.; β , ε – угол заострения и угол в плане при вершине резца, радиан; r_1 – радиус округления режущей кромки, мм; τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, МПа; a – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, м²/с; b – суммарная длина рабочих частей режущих кромок, м; C_0 , n_0 – коэффициенты, зависящие от соотношения радиуса округления режущей кромки r_1 и толщины среза a_1 ; cr – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала, дж/м³·°C.

Формула (5) рекомендована для широкого круга марок сталей, в том числе коррозионно-стойких, учитывает значительное количество факторов, влияющих на величину параметра шероховатости. Однако затруднения при вычислениях представляет сложность и трудоем-

А. Ш. Шифриным и Л. М. Резницким [3] предложена формула для определения наибольшей высоты микронеровностей при точении хромистой коррозионно-стойкой стали 3X13:

$$H_{\max} = 10,7 \cdot \frac{s^{0,27}}{v^{0,17}} \quad (4)$$

где H_{\max} – наибольшая высота микронеровностей, мкм.

Приведенная формула рекомендуется для значений глубины резания до 1 мм, подачи до 0,5 мм/об и скорости резания от 100 до 360 м/мин и учитывает только два параметра – подачу и скорость резания. Данное обстоятельство, а также тот факт, что зависимость предложена для стали одной марки при определенных режимах резания, не обеспечивает возможности ее широкого применения в практике механической обработки.

В работе И. Е. Кирюшина [4] приводится расчетная зависимость для определения высоты микронеровностей при точении:

кость (особенно в производственных условиях) измерения температуры в зоне резания для материалов каждой конкретной пары заготовка–инструмент. Кроме того, в промышленных условиях сложно определять значения коэффициентов C_0 , n_0 .

В зарубежной печати [5] представлена формула для расчета величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при чистовом точении закаленной углеродистой стали AISI 1053 (российский аналог – сталь 50Г) инструментом с режущими пластинами из кубического нитрида бора (КНБ):

$$Ra = R_0 f^x r^y V_c^z \quad (6)$$

где R_0 , x , y , z – поправочные коэффициенты; f – продольная подача (0,05–0,15), мм/об; r – радиус сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок (0,8; 1,2; 1,6), мм; V_c – скорость резания (1,5–3,05), м/с.

В работе Н. Б. Демкина и Э. В. Рыжова [6] приведена формула для чистового точения закаленной стали ХВГ (HRC 60–62) резцом из композита 10 (гексанил-Р):

$$Ra = 4,4 \frac{s^{0,69}}{t^{0,01} \cdot v^{0,15} \cdot r^{0,4}}, \quad (7)$$

где s – продольная подача (0,02–0,1), мм/об; t – глубина резания (0,05–0,5), мм; v – скорость резания (50–170), м/мин; r – радиус сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок (0,1–1,0), мм.

Проведенный анализ имеющихся в литературе зависимостей для определения значений параметров шероховатости поверхностей, полученных точением, установил, что рассмотренные методики применимы в основном для обработки конструкционных легированных сталей. Таким образом, разработка математической модели формирования шероховатости обработанной поверхности при традиционном точении и точении с ОПД является актуальной задачей, решение которой направлено на обеспечение возможности управления выходными параметрами процесса резания.

В производственных условиях без особых сложностей и материальных затрат возможно регулирование режимов резания, осуществление выбора наиболее подходящего инструментального материала. Данные приемы влияния на качество обработки наименее трудоемки. Таким образом, для построения математической модели формирования шероховатости обработанной поверхности при чистовом точении с ОПД и традиционном точении коррозионно-стойких сталей выделяется четыре основных фактора: скорость резания, подача, коэффици-

ент теплопроводности инструментального материала (как характеристика, определяющая тепловой баланс зоны резания), а также фактор влияния ОПД – коэффициент ОПД $K_{\text{ОПД}}$.

Исследования выполнялись для чистового точения (глубина резания $t_p = 0,5$ мм) коррозионно-стойкой стали 20Х13 (сортовой прокат, состояние поставки, $\sigma_{0,2} = 440$ МПа). Инструмент был представлен сменными многогранными твердосплавными пластинами (СМП) тригональной формы W ($\varphi = 95^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; (ISO 1832–1991)); радиус сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок $r = 0,8$ мм. СМП такой геометрии являются наиболее универсальными для операций получистового и чистового точения. Эксперименты выполнялись на токарно-винторезном станке модели 1М63 с бесступенчатым регулированием скорости вращения шпинделя. Для осуществления точения с ОПД обрабатываемой поверхности использовалось сконструированное и изготовленное приспособление. Обработка выполнялась без смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).

Режим осуществления ОПД описывался коэффициентом $K_{\text{ОПД}}$:

$$K_{\text{ОПД}} = \frac{h_{\text{нак}}}{t_p}, \quad (8)$$

где $h_{\text{нак}}$ – глубина наклепанного поверхностного слоя, мм; t_p – глубина резания, мм.

Принятые в исследовании натуральные и безразмерные значения факторов представлены в таблице.

Натуральные значения факторов

Факторы	Натуральные значения		
Нормированное значение (уровень)	–1	0	+1
Скорость резания, м/мин	90	135	180
Коэффициент теплопроводности инструментального материала, Вт/м·К	11 (ТН20)	27 (Т15К6)	50 (ВК6)
Продольная подача, мм/об	0,083	0,166	0,256
Коэффициент $K_{\text{ОПД}}$	0,001	1,6	3,2

На основе данных полного факторного эксперимента была получена регрессионная математическая модель влияния основных параметров обработки традиционным точением и точением с ОПД на величину среднего арифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности [7, 8], которая реализуется в виде следующей зависимости:

$$Ra = 1,33 \cdot V^{0,1} \cdot \lambda^{0,16} \cdot S_o^{0,4} \cdot K_{\text{ОПД}}^{-0,04}, \quad (9)$$

где V – скорость резания, м/мин; λ – коэффициент теплопроводности инструментального материала, Вт/м·К; S_o – продольная подача, мм/об; $K_{\text{ОПД}}$ – коэффициент ОПД.

При традиционном точении коэффициент ОПД равен 0,001.

Таким образом, представлена проблема необходимости создания надежной математической модели для определения параметров каче-

ства, обработанной поверхности при точении коррозионно-стойких сталей. Такую модель предполагается использовать в режиме автоматического расчета режимов резания, обеспечивающих получение заданных величин характеристик шероховатости обработанной поверхности, в современных системах ЧПУ. Разработана зависимость, позволяющая рассчитать величину среднего арифметического отклонения профиля Ra получаемой поверхности при традиционном точении и точении с ОПД, внести необходимые коррективы в базовый технологический процесс, и, тем самым, расширяющая возможности применения способа резания с ОПД для повышения эффективности механической обработки коррозионно-стойких сталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
2. Технологический расчет шероховатости поверхностей и производительности обработки деталей судового машиностроения / С. П. Семенов // Труды Ленинградского кораблестроительного института. – 1959. – Вып. 27. – С. 139–150.

3. Шифрин, А. Ш. Обработка резанием коррозионно-стойких, жаропрочных и титановых сталей и сплавов / А. Ш. Шифрин, Л. М. Резницкий. – М.–Л.: Машиностроение, 1964. – 448 с.

4. Кирюшин, И. Е. Обеспечение качества поверхностного слоя деталей при высокоскоростном торцевом фрезеровании закаленных сталей [Электронный ресурс]: дис. к.т.н. / И. Е. Кирюшин, 2007. – Режим доступа: http://disskaz.com/catalog/obespechenie_kachestva_poverhnostnogo_slova_detaley_pri_visokoskorostnom_tortsevom_frezеровании_zaka.html.

5. Jing Ying Zhang. Process optimization of finish turning of hardened steels / Ying Zhang Jing, Y. Liang Steven // Materials and Manufacturing Processes / – 2007. – № 22. – P. 107–113.

6. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

7. Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стойких сталей / А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев // Металлообработка. – 2012. – № 1. – С. 11–15.

8. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012611474 от 8 фев. 2012 г. РФ. МПК (нет). Расчет величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием и традиционном точении / Ю. Н. Полянчиков, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, А. В. Раздвогин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ». – № 2012611474; заявл. 14.12.2011; опубл. 8.02.2012.

УДК 621.791.76:621.7.044.2

А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак, О. А. Авдеюк, А. В. Севостьянова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ИЗ СМЕСЕЙ ПОРОШКОВ КАРБИДА ХРОМА С ТИТАНОМ ПРИ ВЗРЫВНОМ ПРЕССОВАНИИ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kroch@vstu.ru

Исследован процесс прессования взрывом порошковых смесей карбида хрома Cr_3C_2 и титана. Методами рентгеновского энергодисперсионного микроанализа изучен фазовый состав полученных сплавов. Выявлено влияние режимов взрывного нагружения на пористость и твердость порошковых материалов. С использованием методов электронной микроскопии исследованы особенности формирования поверхностей раздела между компонентами материала при ударно-волновой обработке.

Ключевые слова: карбид хрома, титан, твердый сплав, взрывное прессование, консолидация, межфазные поверхности, пористость, твердость.

The explosive pressing powder mixtures of chromium carbide Cr_3C_2 and titanium is investigated. The phase composition of obtained hard alloys are studied by X-ray energy dispersive microanalysis methods. Influence conditions of explosive loading on the porosity and hardness in obtained powder materials are determined. The interfacial surface formation between components of hard alloys are studied by electron microscopy after explosive pressing.

Keywords: chromium carbide, titanium, hard alloy, explosive pressing, consolidation, interfacial surfaces, porosity, hardness.

В настоящее время твердые сплавы обычно изготавливают путем прессования исходных смесей порошков тугоплавких карбидов с ме-

таллами и спекания, что накладывает определенные ограничения на состав материалов, связанные, прежде всего, с химической совместимостью компонентов сплавов, и не позволяет принципиально повысить их эксплуатационные свойства. Решение этих проблем может быть найдено путем использования при компактиро-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Государственный контракт № 02.740.11.0809).

вании порошковых смесей карбидов с металлами энергии взрыва. Взрывная обработка порошков дает возможность одновременно достигать как давлений, достаточных для уплотнения порошков до практически беспористого состояния, так и температур, достаточных для консолидации (сварки) структурных компонентов порошкового материала в единое целое, а кратковременность воздействия высоких давлений и температур предотвращает возможность избежать вторичного химического взаимодействия между компонентами сплавов и роста зерна в их структуре [2,6].

Целью настоящей работы явилось выявление основных закономерностей взрывного прессования смесей порошков тугоплавкого карбида хрома с титаном, обеспечивающего получение твердых сплавов без последующего спекания.

Карбид хрома Cr_3C_2 был выбран в качестве основы сплавов как наиболее перспективный карбид для работы в окислительной среде при температурах 300 ... 400 °С [8], что соответствует условиям, обычно реализуемым при эксплуатации узлов трения насосов, применяющихся в настоящее время для перекачки перегретого дистиллята [4], а титан – в качестве металлической связки вследствие его низкой акустической жесткости, обеспечивающей хорошую уплотняемость порошковой смеси при взрывной обработке [2]. Весовое содержание связки в порошковых смесях принимали равным 14, 22, 31 и 40 %, что соответствовало ее объемному содержанию 20, 30, 40 и 50 %.

Исходную порошковую смесь располагали на поверхности монолитной металлической подложки и нагружали путем подрыва накладного заряда взрывчатого вещества (ВВ) через промежуточную прокладку, отделяющую продукты детонации от порошка.

Расчет численных значений максимального давления ударно-волнового сжатия производили методом (P, u)-диаграмм, основанном на поэтапном определении характеристик падающих и отраженных волн путем анализа пересечений ударных адиабат прокладки, порошка, основания и продуктов детонации в координатах «давление–массовая скорость» [3, 4], с использованием специально разработанной программы [7]. Температуру разогрева порошка вычисляли исходя из найденного по значениям массовой скорости частиц порошка приращения его внутренней энергии за фронтом падающей ударной волны.

Как показали металлографические исследования образцов, выполненные с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axiovert и просвечивающего электронного микроскопа Tesla BS540, после ударно-волновой обработки смесей порошков карбида хрома с титаном в структуре полученного порошкового материала четко просматриваются образующие непрерывный скелет частицы карбидной фазы, между которыми располагаются металлическая связка и отдельные поры (рис. 1).

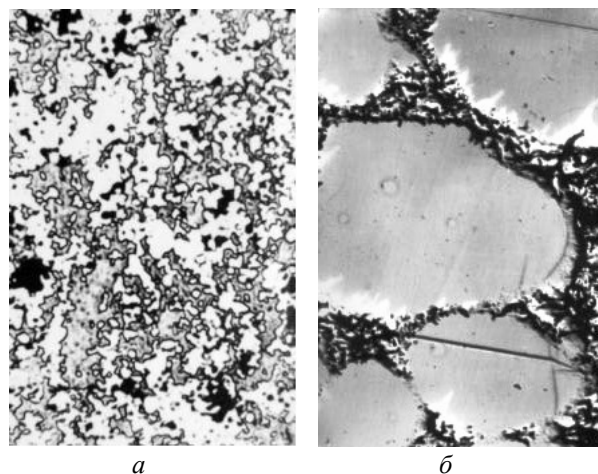


Рис. 1. Структура твердых сплавов после ударно-волновой обработки при увеличении $\times 200$ (оптическая микроскопия) (а) и $\times 5000$ (углеродная реплика, ПЭМ) (б)

Исследования, проведенные с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D FEG, показали, что фазовый состав полученных твердых сплавов после взрывного нагружения соответствует исходному составу порошковой смеси и перераспределение элементов между фазами в заметных объемах не происходит (рис. 2). Это подтверждает сделанное ранее предположение о том, что подобные процессы за столь короткое время, в течение которого длится ударно-волновая обработка порошкового материала, протекать не успевают.

Анализ зависимости пористости твердых сплавов от максимального давления ударно-волнового сжатия (рис. 3) показывает что, с увеличением интенсивности нагружения, то есть максимального давления сжатия P , пористость Π монотонно уменьшается, причем тем существеннее, чем больше содержание связки в исходной смеси порошков.

В отличие от пористости зависимость твердости полученных взрывом материалов от максимального давления сжатия имеет более слож-

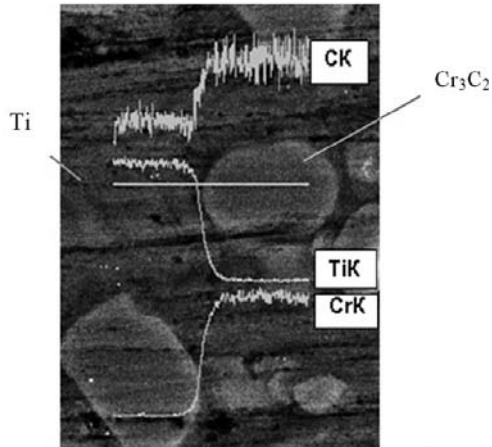


Рис. 2. Распределение элементов вдоль линии сканирования, РЭМ, $\times 10\ 000$

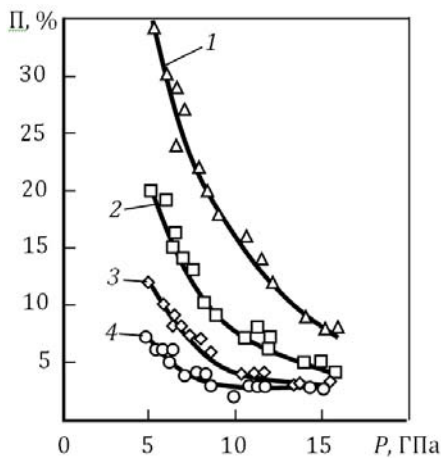


Рис. 3. Зависимость остаточной пористости Π твердых сплавов с различным количеством титановой связки от давления P : 1 – 20 % Ti; 2 – 30 % Ti; 3 – 40 % Ti; 4 – 50 % Ti

ный характер (рис. 4). На каждой из представленных на рисунке кривых хорошо различим участок, на котором имеет место резкий скачок

твердости. Как видно из рис. 5, этот скачок происходит почти при неизменной пористости и свидетельствует о формировании прочного соединения между составляющими исходной порошковой смеси.

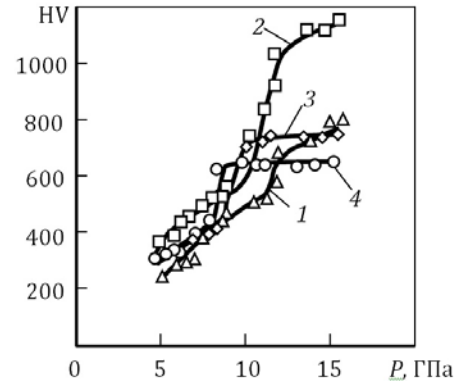


Рис. 4. Зависимость твердости сплавов HV от максимального давления ударно-волнового сжатия P : обозначения те же, что на рис. 3

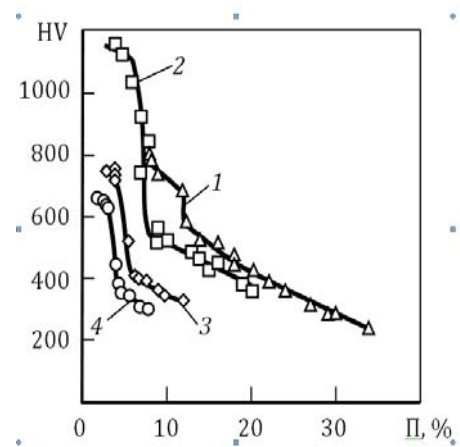


Рис. 5. Связь твердости HV с пористостью Π твердых сплавов: обозначения те же, что на рис. 3

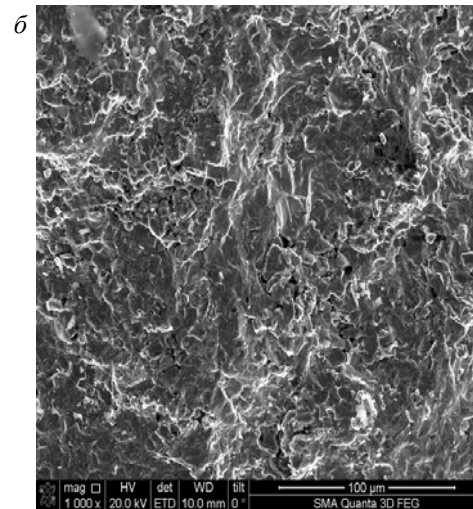
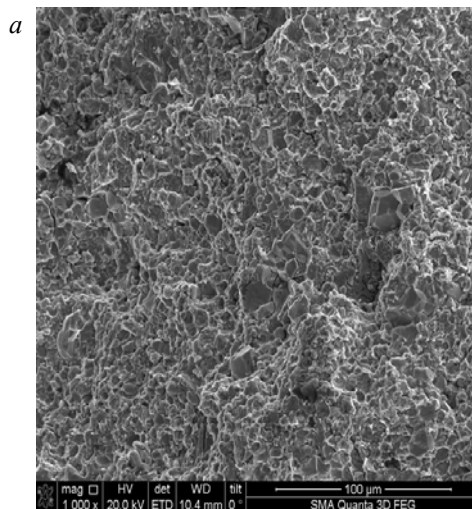
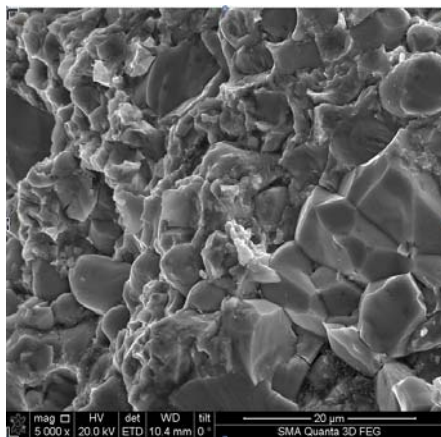


Рис. 6. Вид изломов сплавов системы $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Ti}$, РЭМ, $\times 1000$: а – межкристаллитный, б – транскристаллитный

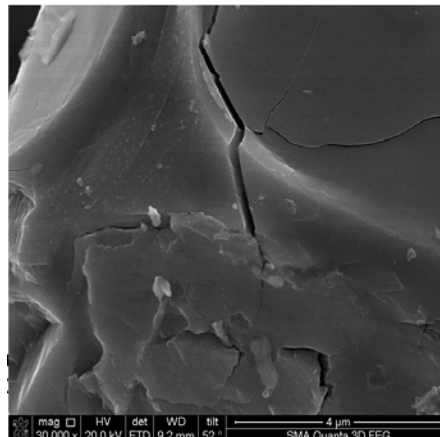
Данный вывод подтверждается изменением характера излома образцов при переходе через указанный участок с межкристаллитного на транскристаллитный (рис. 6).

В первом случае разрушение происходит в

основном по поверхностям раздела между частицами спрессованного материала и на изломах хорошо различима исходная форма частиц карбида хрома (рис. 7, а). На крупных карбидных частицах иногда можно наблюдать трещины (рис. 7, б).



а

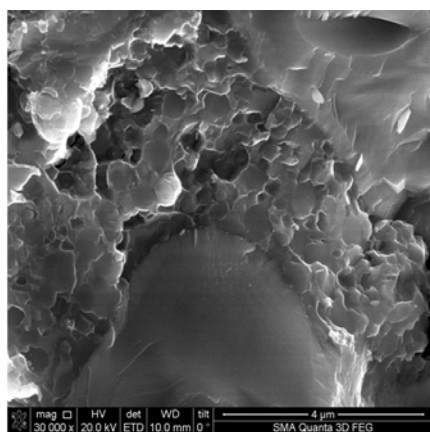


б

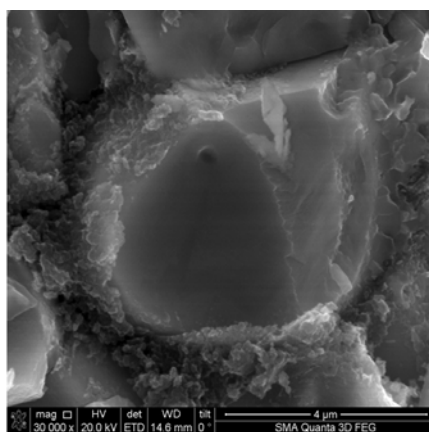
Рис. 7. Вид карбидных частиц на поверхности межкристаллитных изломов в сплавах системы Cr_3C_2-Ti , РЭМ: а – $\times 5\,000$, б – $\times 30\,000$

При образовании в порошковых сплавах прочных межфазных поверхностей эффективность консолидирующего действия металлической связки принципиально возрастает: при разрушении магистральная трещина чаще всего проходит через структурные компоненты порошковой композиции как сквозь единое целое (рис. 8, а). В случае разрушения вдоль межфаз-

ных поверхностей трещина локализуется преимущественно в титане, следы которого можно наблюдать на поверхности карбидных частиц (рис. 8, б). Прочно соединенная с поверхностью карбида металлическая связка оказывает сдерживающее воздействие на поверхностные слои карбидных частиц и предотвращает их микро-растрескивание при разрушении.



а



б

Рис. 8. Вид карбидных частиц на поверхности межкристаллитных изломов в сплавах системы Cr_3C_2-Ti , РЭМ, $\times 30\,000$: а – магистральная трещина, б – разрушение вдоль межфазной поверхности

Из рис. 4 следует, что диапазон давлений, при которых наблюдается формирование прочных межфазных поверхностей, для материалов с разным количеством металлической связки различен. Однако если в качестве параметра

нагружения использовать температуру разогрева порошка в падающей ударной волне, то оказывается, что условия консолидации всех исследованных нами материалов одинаковы и соответствуют одному и тому же диапазону тем-

пературы разогрева порошка – 500...600 °С или $(0,35 \dots 0,4) T_{пл}$ карбида хрома Cr_3C_2 (рис. 9). Установленные температурные границы области режимов сварки частиц порошка друг с другом на стадии уплотнения находятся в соответствии с известными положениями сварки давлением [1], согласно которым образование прочного соединения между металлической и керамической фазами начинается в местах выхода дислокаций в керамической фазе на поверхность ее раздела с металлом за счет пластической деформации сварки, условием для чего является разогрев керамической фазы (в нашем случае карбида хрома) до пластичного состояния, переход в которое обычно происходит в диапазоне температур $(0,35 \dots 0,4) T_{пл}$.

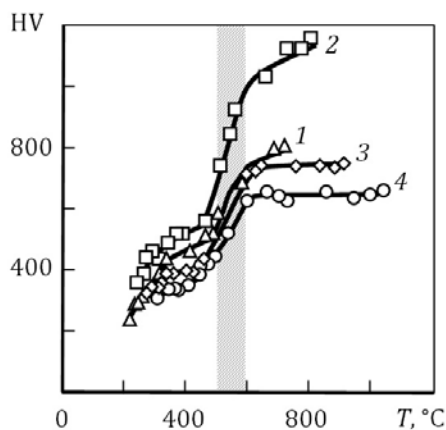


Рис. 9. Зависимость твердости сплавов HV от температуры T разогрева при ударно-волновой обработке: обозначения те же, что на рис. 4

В пользу применения изложенных представлений свидетельствуют результаты исследование фольги, полученной с использованием фокусированного ионного пучка в дуолучевой

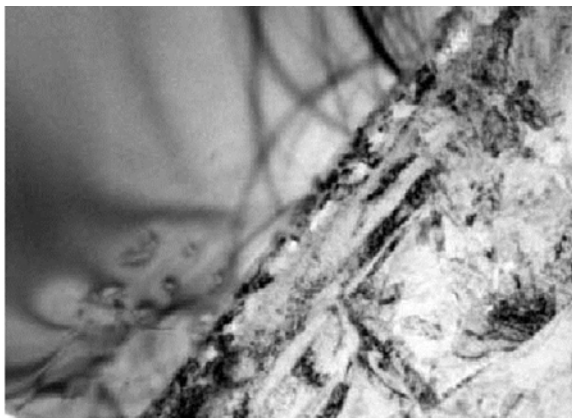


Рис. 10. Микроструктура зоны соединения карбидной и металлической фаз в твердых сплавах системы Cr_3C_2-Ti (фольга, ПЭМ)

системе FIB/SEM Quanta 3DFEG на просвечивающем электронном микроскопе Теспаи G² 20. Эти исследования подтвердили, что на границе карбидных частиц с металлической связкой в случае образования прочного соединения между ними действительно можно наблюдать дислокации в карбидной фазе и их выход на межфазную поверхность (рис. 10).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. При взрывном прессовании смесей порошков тугоплавких карбидов с металлами возможно формирование консолидированных твердых сплавов на стадии прессования. При этом химический состав компонентов сплава изменений не претерпевает и перераспределение элементов между фазами не происходит.

2. Формирование прочных поверхностей раздела между составляющими порошкового материала происходит в том случае, когда температура разогрева порошка при ударно-волновом сжатии превышает $(0,35 \dots 0,4) T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температура плавления основного карбида сплава.

3. На примере сплавов системы Cr_3C_2-Ti показано, что предложенный подход позволяет без спекания получать практически беспористые материалы, твердость которых при оптимальном содержании связки, равном 30 % по объему, превышает 1200 HV, что существенно выше максимальных значений твердости, реализуемых на материалах на основе карбида хрома с помощью традиционных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красулин, Ю. Л. Микросварка давлением / Ю. Л. Красулин, Г. З. Назаров. – М.: Металлургия. – 1976.
2. Крохалев, А. В. Получение износостойких покрытий из смесей порошков карбида хрома с металлической связкой с использованием взрывного нагружения / А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 (65) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений»; вып. 4). – С. 117–122.
3. Компьютерное моделирование взрывного компактирования нанопорошков при получении наноструктурных материалов и покрытий / А. В. Крохалев, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак, В. О. Харламов // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов (3–4 июня 2009 г.): тр. VII Междунар. Рос.-Казахстан.-Японской науч. конф. / Мин-во образования и науки Рос. Федерации [и др.]. – М., 2009. – С. 425–432.
4. Компьютерный расчет параметров сжатия при нанесении порошковых покрытий взрывом / А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений»; вып. 4). – С. 110–116.

5. Крохалев, А. В. Методика экспериментального исследования режимов трения в подшипниках скольжения / А. В. Крохалев, О. А. Авдеюк, Джанта Андри Имули // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 20–23.

6. Pruemmer, R. A. Explosive Compaction of Powders and Composites / R. A. Pruemmer, Blat T. Balakrishn., Siva

Kumar K., K. Hokamoto // Science Publishers. – 2006.

7. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010616142 (РФ). Программа для расчета параметров сжатия порошковых материалов при импульсном нагружении (взрывное компактирование) / А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак. – 2010.

8. Wang D.Y., Weng K.W., Chang C.L., Ho W.Y. // Surface and Coatings Technology. – 1999. – Vol 120. – P. 622.

УДК 621.791.76:621.7.044.2

**А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак,
О. А. Авдеюк, А. В. Севостьянова**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «КАРБИД ХРОМА–ТИТАН»*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kroch@vstu.ru

Рассмотрены режимы трения в подшипниках скольжения и их влияние на коэффициент трения. Установлены корреляционные связи между наиболее важными антифрикционными характеристиками карбидохромовых твердых сплавов и параметрами их структуры и твердости. Предложено объяснение обнаруженных связей, основанное на анализе особенностей контактного взаимодействия в паре трения.

Ключевые слова: карбид хрома, титан, твердый сплав, подшипник скольжения, испытания на трение, антифрикционные свойства.

The paper are presented friction conditions in friction bearings and their effect on the friction coefficient. Correlation between the most important anti-friction characteristics in hard alloys and parameters of their structure and hardness are established. Observed dependences which are based on analysis of contact interaction features in friction pair is explained.

Keywords: chromium carbide, titanium, hard alloy, friction bearing, friction testing, anti-friction properties.

Прогресс ряда областей техники определяется успехами в создании новых материалов для использования в узлах трения, которые способны успешно работать в тяжелых условиях, таких как повышенные или пониженные температуры, высокие скорости скольжения и удельные нагрузки, агрессивные среды, вакуум, сильная радиация и т. п. Весьма перспективным направлением научных исследований в этой связи является разработка новых твердых сплавов триботехнического назначения и новых методов их получения.

Так для изготовления деталей подшипников скольжения, работающих в паре с силицированным графитом в условиях смазки водой, в настоящее время используют сплавы карбида хрома Cr_3C_2 с никелем или нихромом, получаемые путем прессования и спекания. Замена традиционного никеля на титан и использование взрывного нагружения [1] позволяет отказаться от спекания и совместить процесс получения твердого сплава с его нанесением в виде покрытия на рабочие поверхности заготовок деталей узлов трения.

Целью настоящей работы явилось изучение триботехнических свойств подобных материалов, выявление факторов, определяющих особенности их трения по силицированному графиту, и выработка рекомендаций по оптимизации их состава, обеспечивающих достижение наиболее благоприятных условий трения и минимального износа.

Испытаниям на трение и износ были подвергнуты сплавы, содержащие 14, 22, 31 и 40 % титановой связки, что соответствовало ее объемному содержанию 20, 30, 40 и 50 %. Использованные для получения сплавов режимы нагружения обеспечивали их максимальную твердость HV и плотность, близкую к плотности монолитного материала [1,2]. Испытания проводились на машине трения МИ-1М по схеме «штифт–кольцо» с врезанием по известной методике [3].

Вначале в течение 10 мин осуществлялось трение при постоянной нагрузке на образец, равной 490 Н (50 кгс). Затем нагрузка снималась и вновь начинала подаваться, но на этот раз ступенчато, начиная от 25 Н (2,5 кгс) и до 196 Н (20 кгс). При этом время работы на каждой ступени нагрузки устанавливалось по возможности минимальным, но достаточным для стабилизации значения момента силы трения.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Государственный контракт № 02.740.11.0809).

Скорость скольжения в обоих случаях была одинаковой и составляла 1,1 м/с.

Кривые зависимости коэффициента трения k исследованных материалов по силицированному графиту в среде дистиллята от удельной нагрузки $P_{уд}$ приведены на рис. 1.

Как видно из рисунка, на кривых хорошо прослеживаются все переходы от одного режима трения к другому, характерные для диаграмм Герси-Штрибека [3,4]: с увеличением нагрузки коэффициент трения сначала уменьшается (режимы гидродинамической и упруго-гидродинамической смазки), затем начинает возрастать и быстро приходит в насыщение (режимы смешанной и граничной смазки). При дальнейшем увеличении нагрузки коэффициент трения снова достаточно резко возрастает и вновь выходит на насыщение, но при большем, чем в предыдущем случае, уровне значений (трение в режиме схватывания).

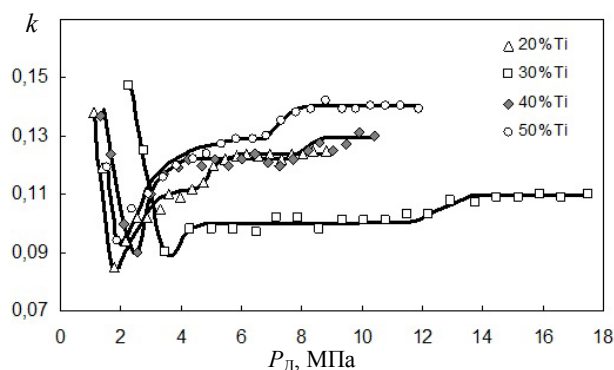


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения карбидохромовых твердых сплавов с титановой связкой от удельной нагрузки

По изломам на кривых зависимости коэффициента трения исследованных материалов от удельной нагрузки могут быть определены основные характеристики их антифрикционных свойств, такие как предельные нагрузки устой-

чивого, преимущественно жидкостного трения $P_{ж}$, граничного трения и перехода к схватыванию P_c , а так же значения минимального коэффициента преимущественно жидкостного трения k_{min} , коэффициентов трения при граничной скачке $k_{гр}$ и при трении в режиме схватывания k_c .

Влияние содержания титановой связки на перечисленные характеристики показано на рис. 2 и, как следует из рисунка, является достаточно сложным (исключением является минимальный коэффициент преимущественно жидкостного трения k_{min} , который практически не зависит от состава сплавов). Чтобы выявить, чем это обусловлено, была предпринята попытка обнаружить однозначную зависимость между антифрикционными свойствами и характеристиками структуры и прочности исследуемых материалов.

При этом оказалось, что коэффициенты трения при граничной смазке и при схватывании обратно пропорциональны твердости HV, а предельные нагрузки жидкостного трения и схватывания — отношению удельного объема карбидной фазы в структуре сплава $V_{кк}$ к его твердости (рис. 3).

Обнаруженная зависимость коэффициентов трения $k_{гр}$ и k_c от $(HV)^{-1}$ находится в полном соответствии с имеющимися теоретическими представлениями триботехники [5], согласно которым площадь фактического контакта при одной и той же нагрузке обратно пропорциональна твердости наименее твердого из трущихся материалов, в данном случае карбидохромового сплава, в поверхность которого будут внедряться выступы карбида кремния, входящего в состав силицированного графита. А увеличение площади контакта ведет к увеличению молекулярной составляющей силы трения и росту коэффициента трения скольжения.

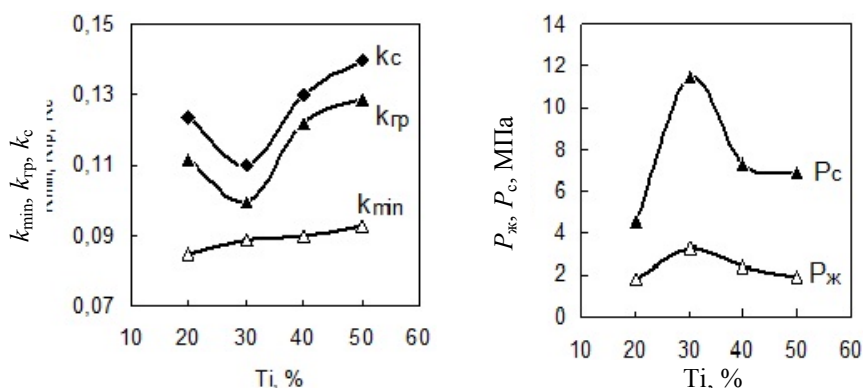


Рис. 2. Основные антифрикционные характеристики карбидохромовых твердых сплавов с титановой связкой

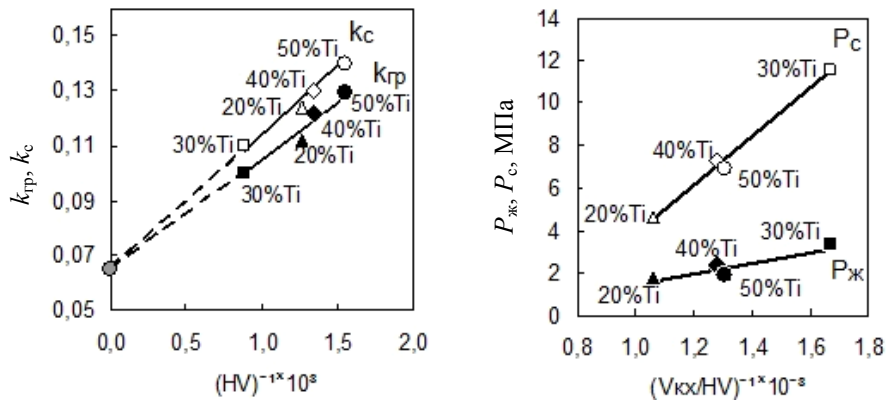


Рис. 3. Связь антифрикционных характеристик сплавов с твердостью и относительным удельным объемом карбидной фазы

Экстраполяция прямых зависимостей коэффициентов трения от параметра $(HV)^{-1}$ до его нулевого значения, соответствующего нулевой площади фактического контакта, позволяет определить механическую составляющую коэффициента трения: $b = 0,065$.

Произведение удельного объема карбидной фазы на величину, обратную твердости материала, представляет собой параметр, пропорциональный площади фактического контакта по карбидной фазе при одинаковой общей нагрузке на контакт.

Изменение предельной нагрузки жидкостного трения и предельной нагрузки схватывания с изменением этого параметра вполне естественно, так как карбидная фаза имеет большее сопротивление деформированию, чем металлическая матрица, и меньшую теплопроводность. Поэтому увеличение площади контактирования по ней будет приводить к увеличению уровня локального повышения температуры и давления на площадках фактического контакта, что в свою очередь в режиме преимущественно жидкостного трения должно способствовать снижению вязкости смазывающей жидкости, уменьшению несущей способности жидкостного клина, увеличению вероятности нарушения его сплошности и, как следствие, уменьшению $P_{ж}$, а в режиме граничного трения приводить к десорбции мономолекулярных слоев смазочной жидкости и увеличивать вероятность их разрушения, уменьшая тем самым $P_{с}$.

Зависимость износа образца $\Delta V_{ш}$ и контрола $\Delta V_{к}$ от содержания титановой связки в исходной смеси порошков, используемой для получения твердых сплавов, приведена на рис. 4.

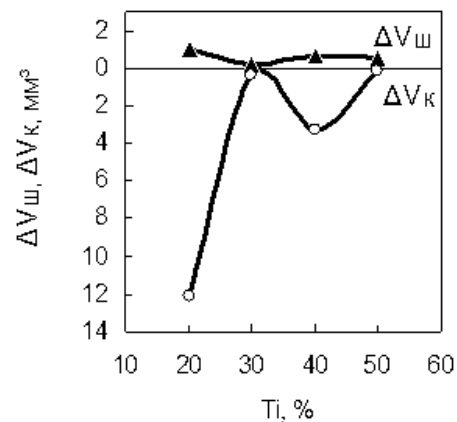


Рис. 4. Износ в паре трения «сплав на основе карбида хрома–силицированный графит»

В этом случае, как и в предыдущем, фактором, определяющим величину износа образцов из твердого сплава при трении по силицированному графиту, оказалось отношение объема карбидной фазы в структуре сплавов к их твердости (рис. 5). Упомянутое выше ухудшение условий трения с увеличением этого отношения однозначно приводит к росту износа твердых сплавов.

Как следует из рис. 4, зависимость износа кольца из силицированного графита от состава испытываемых сплавов носит более сложный характер, чем зависимость износа самих твердых сплавов. Однако и в данном случае можно найти однозначную прямолинейную связь между экспериментальными данными по износу и характеристикам структуры и твердости исследуемых образцов. Как оказалось, износ кольца из силицированного графита прямо пропорционален отношению удельного объема карбидной фазы в структуре твердого сплава к корню квадратному от величины его твердости (рис. 5).

Поскольку величина твердости материала обратно пропорциональна фактической площади контакта, то корень из величины твердости будет также обратно пропорционален некото-

рому среднему суммарному линейному размеру этой площади, то есть тому пути, который в среднем проходит каждая точка поверхности кольца по площади фактического контакта.

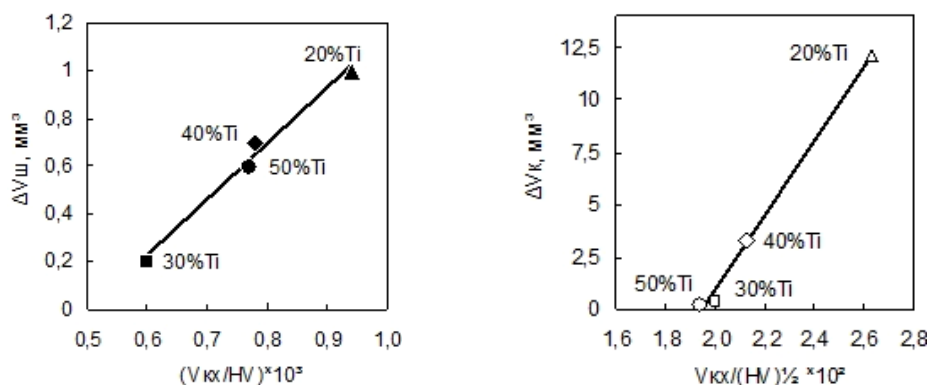


Рис. 5. Связь износа в паре трения «твердый сплав–силицированный графит» с твердостью и относительным удельным объемом карбидной фазы в структуре сплава

Доля этого пути, приходящаяся на карбидную фазу, пропорциональна объемному содержанию ее в структуре сплава.

Таким образом, износ кольца силицированного графита оказывается прямо пропорциональным пути, проходимому при трении каждой точкой его поверхности по карбидной фазе контактирующего с кольцом твердого сплава. Это вполне закономерно, так как титановая связка имеет несоизмеримо меньшую твердость, чем частицы карбида кремния, внедряющиеся и «пропахивающие» поверхность твердого сплава, и вряд ли может вызвать их разрушение. Твердость же карбида хрома соизмерима с твердостью карбида кремния и, по видимому, именно при взаимодействии с ним и происходит разрушение SiC и материала кольца как целого.

Как следует из рис. 4, минимальный суммарный износ пары трения имеет место при содержании связки, равном 30 %. Кроме материала этого состава интерес представляет твердый сплав, содержащий 50 % титановой связки. При несколько большем, чем для сплава с 30 % титана, износе материала образца суммарный износ пары трения в этом случае оказывается практически таким же, как и для сплава с оптимальным содержанием титана.

Для корректного сопоставления свойств разработанных сплавов со свойствами уже из-

вестных антифрикционных материалов, применяемых в настоящее время в рассматриваемых узлах трения, по описанной выше методике были проведены триботехнические испытания силицированного графита СГП-0,5 и твердого сплава карбида хрома с никелем КХН-20, полученных традиционными методами. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Как видно из представленных в ней данных, коэффициенты трения материалов на основе карбида хрома с титановой связкой при любых режимах трения несколько превышают коэффициенты трения силицированного графита по силицированному графиту, но остаются ниже, чем коэффициенты трения КХН-20 по силицированному графиту.

Предельная нагрузка преимущественно жидкостного трения для сплавов карбида хрома с 30 % титана оказывается выше, чем у пары трения «СГП-0,5 по СГП-0,5», а также пары трения «КХН-20 по СГП-0,5». Для материалов на основе Cr_3C_2 , содержащих 50 % титана, величина этой нагрузки несколько меньше, чем для сплава с 30 % титановой связки, и даже ниже, чем для сплава КХН-20, но она все-таки остается более высокой, чем для силицированного графита.

Предельная нагрузка схватывания материалов, полученных взрывом, существенно выше, чем у известных, а износ на порядок ниже.

Антифрикционные свойства и износостойкость материалов

Свойство материала	Разработанные материалы на основе карбида хрома		Применяемые материалы	
	Содержание титана, %		СГП-0,5	КХН-20
	30	50		
Минимальный коэффициент преимущественно жидкостного трения	0,089	0,093	0,054	0,123
Предельная нагрузка устойчивого преимущественно жидкостного трения, МПа	3,3	1,9	1,4	2,6
Коэффициент трения при граничной смазке	0,100	0,129	0,076	0,152
Предельная нагрузка схватывания, МПа	11,5	6,9	3,5	5,2
Коэффициент трения в режиме схватывания	0,110	0,140	0,080	0,154
Износ штифта, мм ³	0,2	0,6	0,9	0,7
Объемный износ кольца, мм ³	0,4	0,2	14,2	7,5
Суммарный износ пары трения, мм ³	0,6	0,8	15,1	8,2

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Для достижения наиболее высоких антифрикционных характеристик и минимального износа твердых сплавов на основе карбида хрома при работе в паре с силицированным графитом в воде необходимо обеспечить получение как можно большей твердости сплава при как можно меньшем удельном объеме карбидной фазы в их структуре.

2. Для порошковых твердых сплавов системы «карбид хрома–титан» в наиболее полной мере этим требованиям удовлетворяют сплавы, содержащие 30 и 50 % металлической связки по объему. Использование указанного состава позволяет получить более высокие антифрикционные характеристики и износостойкость по сравнению с материалами, изготовленными традиционными способами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крохалев, А. В. Получение износостойких покрытий из смесей порошков карбида хрома с металлической связкой с использованием взрывного нагружения / А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5(65) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений» ; вып. 4). – С. 117–122.
2. Компьютерный расчет параметров сжатия при нанесении порошковых покрытий взрывом / А. В. Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений» ; вып. 4). – С. 110–116.
3. Крохалев, А. В. Методика экспериментального исследования режимов трения в подшипниках скольжения / А. В. Крохалев, О. А. Авдеюк, Джанта Андри Имули // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 7). – Волгоград, 2011. – С. 20–23.
4. Мур, Д. Основы и применения трибоники; пер. с англ. / Д. Мур. – М.: МИР, 1978. – 488 с.
5. Гаркунов, Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

УДК 621.9.02

А. И. Курченко, С. И. Кормилицин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЦИКЛИЧЕСКОГО СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ α -ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Исследованы закономерности образования циклических стружек и износа твердосплавных инструментов при точении титановых сплавов.

Ключевые слова: титановый сплав, твердосплавный инструмент, циклическая стружка, износ.

The regularities of formation of cyclic turnings and wear of carbide tools in turning of titanium alloys.

Keywords: titanium alloy, carbide tools, cyclic turnings, tool wear.

Современное машиностроительное производство для повышения эффективности механической обработки труднообрабатываемых титано-

вых сплавов должно использовать все резервы повышения производительности этого процесса, характеризуемого низкими скоростями ре-

зания. Для более полного решения этой задачи необходимо знать все особенности формирования характеристик процесса резания и определить степень их влияния на износ инструмента, чтобы в наиболее оптимальной степени подобрать марки инструмента и его геометрию.

Отличительной особенностью обработки титановых сплавов является их высокая прочность (800... 1400 МПа), малая пластичность, низкий коэффициент теплопроводности, способность накапливать большие упругие деформации, что приводит к появлению циклических (пилообразных) стружек. Циклический процесс стружкообразования вызывает резкое колебание сил резания, а, следовательно, колебания температуры и напряжений в режущем клине инструмента, что вызывает его циклическую усталость и интенсификацию износа.

В справочной литературе при назначении режимов обработки титановых сплавов существуют завышенные обобщения по применению марок твердосплавного инструмента; не учитывается структурное строение титановых сплавов [1], [2], которое в значительной мере влияет на стойкость инструмента [3]. В научной литературе мало исследований по изучению динамики изменения сил резания, температуры при точении титановых сплавов [3], [4], [5] и их влиянию на износ инструмента.

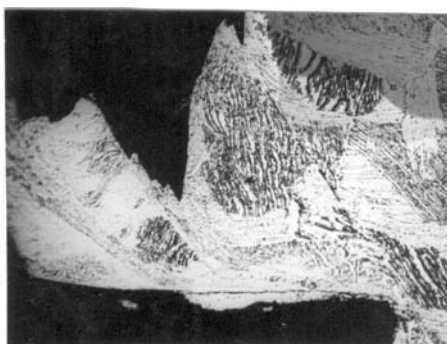
В работе [6], [7], [8] подробно раскрыт механизм формирования циклических стружек при точении нержавеющей стали, но неоправданно обобщены эти результаты для процесса резания титановых сплавов. Все вышперечисленные факты снижают эффективность назначения режимов резания для обработки титановых сплавов.

В настоящей работе ставилась задача более подробного изучения процесса циклического

стружкообразования на примере точения α -титанового сплава как наименее изученного [3], [4].

Изучение циклическости стружкообразования наиболее наглядно выявляет особенности процесса при изучении корней стружек.

Рассмотрение ряда корней стружек на скоростях резания 30... 90 м/мин позволяет сделать вывод о том, что не только способность к адиабатическому сдвигу в зоне стружкообразования (из-за низкого коэффициента теплопроводности) является основной причиной циклическости стружкообразования. Изучение структуры металла, заключенного в объеме одного зубчика, показывает, что размеры зубчиков в сильной степени зависят от соотношения количества разных структурных фаз (зерен, кристаллитов), находящихся в одном зубчике, особенно это характерно для резания на скоростях 20...60 м/мин (рис. 1, 2). Видно, что зубчики с разными размерами имеют различия в структурных элементах – зернах, кристаллитах, заполняющих объем зубчиков. На рис. 2 зубчики стружки имеют примерно одинаковые размеры, и их структура мало отличается друг от друга. Объемы срезанного металла перед зоной стружкообразования (в размерах, соизмеримых с размерами 1–2 зубчиков) имеют относительно гомогенную структуру, что предопределяет формирование тождественных по размерам зубчиков. При обработке α -титанового сплава ВТ-5 его зерна (кристаллиты) из α -фазы, представленной в разной структурной форме, могут заполнять объем зубчика в количестве 1...3 штук. Если их количество одинаково в ряде соседних последовательных элементов стружки, то будут формироваться примерно одинаковые по размерам зубчики, с одинаковой амплитудой колебания сил резания и температуры в зоне стружкообразования и на передней поверхно-



а



б

Рис. 1. Корни стружек с разными размерами зубчиков при точении титанового сплава ВТ-5, $v = 50$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об, $t = 1,5$ мм x 300 (а); x 150 (б)

сти резца. Из соотношения размеров выступающей части зубчиков к размеру длины плоскости сдвига в зоне стружкообразования видно, что силы будут колебаться – уменьшаться (от максимального значения по фазе формирования зуба) на 20...40 % (рис. 2). При точении нержавеющей сталей типа Х18Н10Т, ЭИ 462, которые имеют одинаковые зубчики на сходящей стружке, наблюдается примерно такая же величина колебания сил резания.

При рассмотрении рис. 1, где наблюдаются зубчики с разными размерами, колебание сил резания будет в пределах 60...75 %, что усилит негативное влияние цикличности на усталостный износ твердосплавного инструмента.

На рис. 3, а показан корень стружки, на котором в течение определенного времени резания вообще не наблюдается формирование зубчиков, что может говорить о том, что низкое значение коэффициента теплопроводности титановых сплавов в определенном диапазоне скоростей резания (до 40...50 м/мин) не является решающим фактором в формировании циклического процесса. Рассмотрение структурного состояния металла в стружке и перед зоной стружкообразования показывает, что эти объемы совершенно гомогенные (с весьма тонкой структурой) и должны характеризоваться благоприятным расположением главных плоскостей сколь-

жения в кристаллите (объеме с одинаковой структурой) по отношению к направлению плоскости скольжения зоны стружкообразования.

На всех представленных корнях стружек (рис. 1, 2), характерных для низких скоростей резания, не наблюдается явного проявления полосы адиабатического сдвига в зоне стружкообразования. На рис. 1 в плоскости сдвига одного зубчика достоверно наблюдаются остаточные проявления образования трещины на плоскости скольжения, это можно наблюдать на рис. 2 в верхней части плоскости сдвига.

На рис. 3, б представлен корень стружки, полученный на скорости 90 м/мин. На нем уже видны полосы адиабатического сдвига, формирующие зубчики стружки, четко виден текущий контактный слой стружки [9], который не наблюдался на низких скоростях резания (рис. 1, 2). Это говорит о принципиальном различии в протекании процессов, формирующих циклическую стружку.

Подсчет интенсивности размерного износа на передней и на задней поверхности [10] резца (износа по нормали к поверхностям резца) на скорости 50 м/мин показал, что их величины практически равны: $h_{\gamma} = 1,49 \cdot 10^{-4}$ мм и $h_{\alpha} = 1,55 \cdot 10^{-4}$ мм на один метр «проходящей» контактной поверхности резания и поверхности стружки. Близость их значений говорит об идентичности механизма износа поверхностей резца.

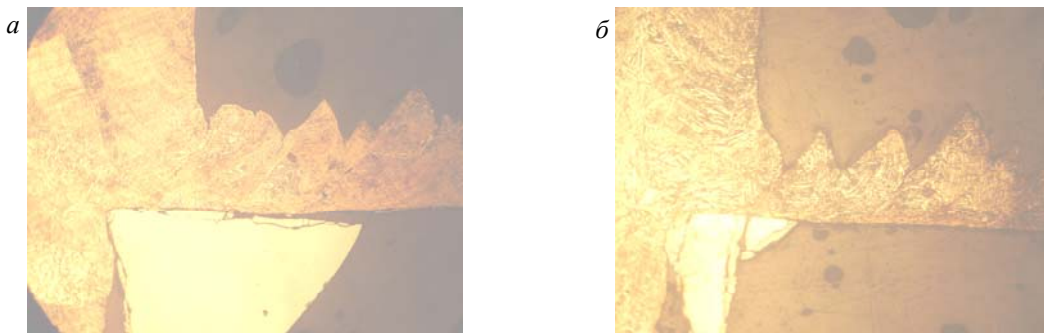


Рис. 2. Корни стружек с одинаковыми размерами зубчиков при точении титанового сплава ВТ-5: а – $v = 30$ м/мин, $s = 0,25$ мм/об, $t = 1,5$ мм, х 300; б – $v = 50$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об, $t = 1,5$ мм, х 150

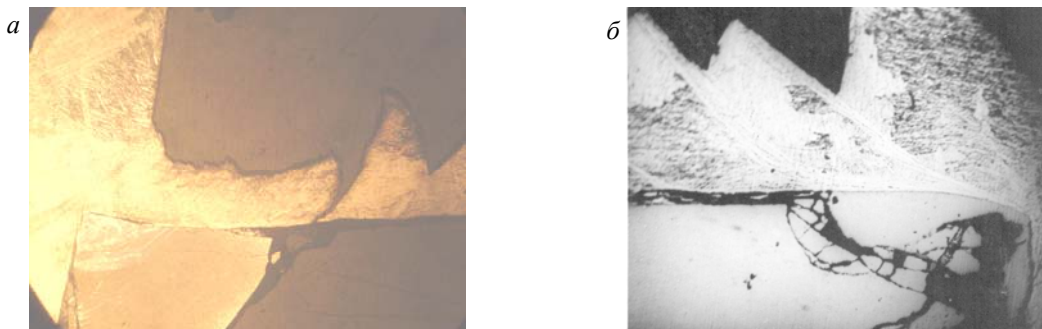


Рис. 3. Корни стружек при точении титанового сплава ВТ-5, $s = 0,256$ мм/об, $t = 1,5$ мм: а – $v = 50$ м/мин, х 150; б – $v = 90$ м/мин, х 150

При отсутствии выраженного текстурированного слоя стружки на передней поверхности (до скоростей 50...60 м/мин) этот износ должен быть механическим и адгезионно-усталостным.

Рассмотрение процесса циклического стружкообразования на корнях стружек показывает, что спусковым механизмом цикличности стружек при точении титановых сплавов на низких (но практически используемых в производстве) скоростях резания является процесс зарождения микротрещин в верхней части зоны стружкообразования на границах различно ориентированных зерен, кристаллитов.

На высоких скоростях резания, более 70 м/мин, основным процессом циклического стружкообразования является адиабатический сдвиг по полосе скольжения.

Для уменьшения цикличности процесса при точении титановых сплавов типа ВТ-5 необходимо улучшать (путем термического передела) структуру металла, повышать ее однородность так, чтобы в зоне стружкообразования располагались различные структуры элементов (зерен, структурных фаз) около 20...30 штук, что характерно для обработки нержавеющей стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
3. Кривоухов, В. А. Обработка резанием титановых сплавов / В. А. Кривоухов, А. Д. Чубаров. – М.: Машиностроение, 1970. – 189 с.
4. Ерофеев, Н. А. Измерение силы резания на токарном станке / Н. А. Ерофеев // Физические процессы при резании металлов: межвуз. сб. науч. тр. / ВПИ. – Волгоград, 1987. – С. 30–32.
5. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
6. Полянчиков, Ю. Н. Неустойчивость процесса резания при токарной обработке сталей аустенитного класса / Ю. Н. Полянчиков, Н. П. Черемушников, С. М. Пактусов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 1). – С. 52–53.
7. Курченко, А. И. Закономерности изнашивания твердосплавного инструмента при точении α -титанового сплава / А. И. Курченко, С. И. Кормилицин, О. А. Курсин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 23–27.
8. Полянчиков, Ю. Н. Неустойчивость процесса резания титановых сплавов и аустенитных сталей / Ю. Н. Полянчиков, Н. П. Черемушников, В. А. Солодков, Н. М. Цыганова, Д. В. Крайнев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 1). – С. 50–52.
9. Солодков, В. А. Стружкообразование и контактное взаимодействие при врезании / В. А. Солодков, М. А. Тибиркова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 49–53.
10. Полянчиков, Ю. Н. Влияние механизма контактного взаимодействия на износ передней поверхности инструмента / Ю. Н. Полянчиков, С. М. Пактусов, В. А. Солодков, Н. П. Черемушников, А. В. Кумаков, Д. В. Крайнев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 1). – С. 45–48.

УДК 621.941.1

А. А. Липатов

ВЛИЯНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ПЛОЩАДКЕ ИЗНОСА ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЕГО ИЗНАШИВАНИЕ ПРИ ТОЧЕНИИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: leeandrej@yandex.ru

Исследованы закономерности износа твердосплавного инструмента при точении аустенитной стали. Выявлено, что при практически применяемых скоростях резания на площадке износа имеет место один вид взаимодействия – пластический контакт, а причиной сохранения адгезионно-усталостной составляющей в механизме износа до высоких скоростей резания является неустойчивость стружкообразования. Превалирование одного из двух механизмов износа (адгезионно-усталостного или диффузионного) в большой степени зависит от марки твердого сплава.

Ключевые слова: точение, аустенитная сталь, задняя поверхность, площадка износа, неустойчивость стружкообразования, адгезионно-усталостный износ, диффузионный износ.

Study the mechanisms of wear carbide tool when machining of austenitic steel. It is revealed, that in practically applied cutting speeds at the site of the depreciation takes place one kind of interaction - plastic contact, and the cause of preservation of adhesion-fatigue component in the mechanism of wear to high speeds of cutting is the instability of the formation of chips. The prevalence of one of the two mechanisms of wear (of adhesion-fatigue or diffusion) in the big degree depends on the brand of hard alloy.

Keywords: turning, austenitic steel, rear surface, ground wear, the instability of the formation of chips, adhesion-fatigue wear, diffusion wear.

Аустенитные стали относятся к категории труднообрабатываемых материалов. Поэтому углубление знаний о механизме износа при их механической обработке твердосплавным инструментом имеет первостепенное значение.

В результате ранее проведенных исследований [1] выявлено, что при точении аустенитной стали на площадке износа задней поверхности инструмента во всем практически применяемом диапазоне скоростей имеет место один вид контактного взаимодействия – пластическое течение контактных слоев обрабатываемого материала при полном прилипании их к инструменту (пластический контакт). Выявлено также, что износ инструмента при обработке аустенитной стали характеризуется сохранением адгезионно-усталостной составляющей до высоких скоростей резания (особенно для инструмента из титаносодержащих твердых сплавов групп ТК и ТТК), что связано с присущей резанию аустенитной стали неустойчивостью стружкообразования, порождающей переменный характер силового и теплового воздействия на площадку износа [2–4].

Целью настоящей публикации является подтверждение представленных выше тезисов на расширенной экспериментальной базе, а также комплексный анализ экспериментальных данных о неустойчивости стружкообразования, контактных процессах и результатов стойкостных испытаний для выявления закономерностей и механизма износа.

Исследования проводили при продольном точении заготовок из аустенитной стали 12Х18Н10Т резцами с механически закрепляемыми пластинами из твердых сплавов ВК6, ТТ20К9 и Т15К6. Выбор из группы ВК сплава ВК6, а не наиболее широко применяемого в промышленности ВК8, обусловлен соображением уменьшения влияния деформации режущего клина на износ. Выбор из группы ТТК сплава ТТ20К9 – наибольшим содержанием тантала.

Резцы имели следующую геометрию: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 25^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 0,3$ мм. Скорость резания v изменяли от 15 до 180 м/мин при подаче $s = 0,3$ мм/об и глубине резания $t = 1,5$ мм.

Для исследования контактных процессов использовали микрошлифы корней стружек, получаемых с помощью устройства «падающий резец».

За критерий затупления при испытаниях на стойкость была принята ширина площадки из-

носа задней поверхности $h_3 = 0,3$ мм (резец считался выработавшим ресурс и в других случаях, о чем будет сказано ниже). В качестве показателя износостойкости использовался путь резания до затупления L . При проведении исследований было замечено, что при небольших скоростях резания (при наличии застойных явлений на передней поверхности) происходит активное скалывание режущей кромки, связанное с наличием налива из обрабатываемого материала на передней поверхности резца после выхода того из заготовки. Для выделения регулярного износа, то есть износа непосредственно при резании, были предприняты специальные меры (максимальное увеличение длины проходов, удаление наливов и др.).

На рис. 1 приведены результаты стойкостных испытаний – зависимости длины пути резания L до затупления от скорости v . Штриховой линией показаны результаты экспериментов, при которых критерий затупления $h_3 = 0,3$ мм не был достигнут: резцы выходили из строя по другим причинам (о которых будет сказано ниже), а данные для кривых $L(v)$ получены экстраполяцией зависимостей $h_3(L)$ до $h_3 = 0,3$ мм. Здесь же представлены скоростные диапазоны существования видов контактного взаимодействия на площадке износа, а также границы начала и завершения развития неустойчивости стружкообразования (перехода с ростом v от сливной стружки к строго циклической). Нельзя не отметить следующее. Во-первых, с ростом v нарост трансформируется непосредственно во взаимодействие с пластическим контактом (минуя какие-либо застойные явления, присущие развитию контактного взаимодействия на передней поверхности [1], а при обработке перлитных сталей – и на площадке износа [5]). Во-вторых. Несмотря на большую разницу теплопроводности вольфрамокобальтового и титаносодержащих твердых сплавов (согласно [6] – до двух раз) скорость перехода от нароста к взаимодействию с пластическим контактом на площадке износа (в отличие от передней поверхности) для резцов из ВК6, ТТ20К9 и Т15К6 отличалась несущественно (для наиболее теплопроводного твердого сплава ВК6 переход наблюдался при v порядка 18–20 м/мин, для наименее теплопроводного Т15К6 – при 14–16 м/мин; для сравнения, скорости перехода к пластическому контакту на передней поверхности резцов из этих же твердых сплавов 40–45 м/мин и 20–25 м/мин

соответственно). Это объясняется тем, что переход к пластическому контакту на площадке износа осуществлялся при таких скоростях v , когда на передней поверхности для всех указанных твердых сплавов еще имелся более или менее явно выраженный нарост (нивелирующий разницу интенсивностей стока тепла в инструмент с разной теплопроводностью, а следовательно – и разницу в уровнях температур режущего клина). Поэтому на рис. 1 граница скоростных диапазонов существования нароста и пластического контакта показана «размытой» (двумя штриховыми линиями) – без привязки к марке твердого сплава (к тому же, переход от нароста к пластическому контакту с ростом скорости осуществляется по ширине среза не одновременно – в среднем сечении при несколько меньших v). В-третьих, практически одинаковыми для всех твердых сплавов оказались и скоростные диапазоны существования сливных (без следов неустойчивости), циклических, а также стружек переходного типа (С – Ц на рис. 1; зубчики на стружке есть, но степень деформации металла в фазах сжатия и сдвига отличается незначительно).

Из рис. 1 следует, что наилучшие результаты при обработке с небольшими скоростями

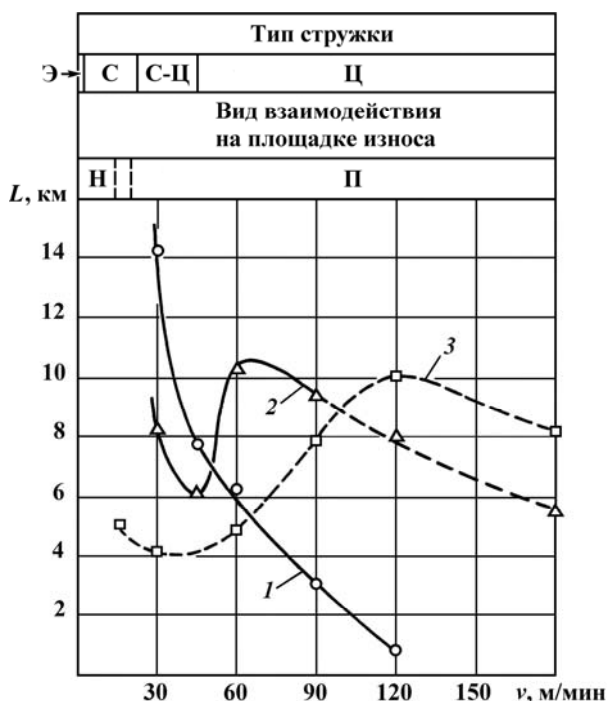


Рис. 1. Скоростные диапазоны существования видов контактного взаимодействия на площадке износа (Н – нарост, П – пластический контакт), типов стружек (Э – элементная, С – сливная, С-Ц – переходная; Ц – циклическая) и зависимости длины пути резания L до затупления от скорости v : 1 – ВК6; 2 – ТТ20К9; 3 – Т15К6

показал твердый сплав ВК6. С ростом v путь резания резцами из ВК6 монотонно уменьшается. Зависимость $L(v)$ для сплава ТТ20К9 имеет минимум и максимум. Минимум соответствует скорости резания 45 м/мин. В диапазоне средних скоростей резания (60–90 м/мин) твердый сплав ТТ20К9 показал наилучшие результаты. Площадка износа резцов из ТТ20К9 в большинстве случаев (у резцов из ВК6 – при всех режимах) имела ровную нижнюю границу, на ней отсутствовали следы сколов и выкрашиваний режущей кромки. Следует отметить, что при скоростях резания, существенно меньших, чем 30 м/мин, износ инструмента из обоих твердых сплавов после длительного резания был столь мал, что продолжение испытаний теряло смысл (поэтому экспериментальные точки на рис. 1 не представлены). В зоне высоких скоростей (120–180 м/мин) резцы из ТТ20К9 выходили из строя, не достигнув заданного критерия затупления $h_3 = 0,3$ мм, вследствие резкого ухудшения качества обработанной поверхности, вызванного износом вспомогательной режущей кромки ($v = 120$ м/мин), и пластического опускания вершины резца с последующим ее сколом ($v = 180$ м/мин). Для износостойкого, но хрупкого твердого сплава Т15К6 ни на одном режиме не была достигнута величина износа $h_3 = 0,3$ мм. Резцы преждевременно выходили из строя из-за более интенсивного износа вершины резца ($h_в/h_3 = 1,5-1,6$; для сравнения у ВК6 и ТТ20К9 $h_в/h_3 = 1,2-1,3$), вспомогательной режущей кромки и соответствующего резкого ухудшения качества обработанной поверхности. При скоростях $v \leq 60$ м/мин на площадке износа наблюдались следы микросколов режущей кромки, а нижняя граница площадки износа была неровной. Построенная, тем не менее, по результатам экстраполяции зависимость $L(v)$ для Т15К6 имеет максимум, смещенный по сравнению с аналогичным максимумом для ТТ20К9 в сторону больших скоростей v .

В настоящее время считается общепринятым, что основными механизмами износа твердосплавного инструмента при резании сталей являются адгезионно-усталостный и диффузионный. При этом природа максимума на кривых $L(v)$ объясняется [7, 8] уменьшением с ростом v (и соответственно – температуры резания) интенсивности адгезионно-усталостного износа при недостаточном развитии диффузионных процессов. Таким образом, максимум на кривых $L(v)$ связан со сменой преобладающего

механизма износа. Профессором Н. В. Талантовым [5] установлено, что переход от преобладания одного механизма износа к другому с ростом скорости резания для углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса реализуется через смену видов контактного взаимодействия на площадке износа. При этом переход к резанию с пластическим контактом (исчезновению каких-либо застойных образований) на площадке износа задней поверхности сопровождается началом интенсификации износа по диффузионному механизму. В настоящих исследованиях максимумы кривых $L(v)$ наблюдались внутри скоростного диапазона существования на площадке износа одного вида взаимодействия – пластического контакта (рис. 1).

Причиной сохранения в механизме износа при взаимодействии с пластическим контактом существенной адгезионно-усталостной составляющей является неустойчивость (циклический характер) стружкообразования. Таким образом, при обработке аустенитной стали оба механизма износа могут иметь место в самом широком диапазоне скоростей резания (вплоть до самых высоких значений v). Преобладание одного из них в большей степени зависит от свойств твердого сплава. Так, для достаточно прочного и, соответственно, устойчивого в условиях адгезионно-усталостного разрушения твердого сплава ВК6 монотонное падение длины пути резания до затупления L с ростом скорости v можно объяснить только доминированием диффузионного износа с интенсификацией его по мере увеличения v . Тем не менее, на площадке износа для ВК6 наблюдаются следы отдельных мелких адгезионных вырывов (рис. 2, а). Для более хрупкого твердого сплава ТТ20К9 при этой же скорости (что и для рис. 2, а – $v = 60$ м/мин) имеет место максимум зависимости $L(v)$, свидетельствующий о переходе от преобладания

адгезионно-усталостного износа к диффузионному, а на площадке износа имеются более явные следы адгезионных вырывов (рис. 2, б). Наиболее хрупкий твердый сплав Т15К6 при $v = 60$ м/мин работает в зоне превалирования адгезионно-усталостного износа (максимум $L(v)$ смещен для него в сторону еще больших скоростей (см. рис. 1), и на поверхности площадки заметны еще более отчетливые его следы (рис. 2, в). Примечательно, что минимум пути резания до затупления для сплава ТТ20К9 (для Т15К6 говорить о минимуме не позволила статистическая обработка результатов) наблюдается при скорости перехода к строго циклическому стружкообразованию $v = 45$ м/мин (рис. 1). При этом на площадке износа наблюдаются наиболее крупные адгезионные вырывы (рис. 2, г). С ростом скорости резания v (относительно 45 м/мин), несмотря на развитие неустойчивости (увеличении частоты и амплитуды колебаний угла сдвига [3, 9]), вклад в суммарный износ адгезионно-усталостных явлений для ТТ20К9 уменьшается (рис. 2, б). Это объясняется повышением температуры контакта и соответствующим изменением соотношения твердостей инструментального и обрабатываемого материалов [7, 8].

Дополнительным доказательством связи адгезионно-усталостной составляющей износа с неустойчивостью стружкообразования является представленная на рис. 2, д микрофотография участка площадки износа ($h_3 = 0,07$ мм) резца из ТТ20К9 после резания с небольшой скоростью $v = 17,5$ м/мин, при которой неустойчивость стружкообразования отсутствует (показана средняя по ширине среза часть площадки, где переход от нароста к пластическому контакту уже произошёл). Как видно из рис. 2, д, следов адгезионных вырывов на поверхности площадки практически нет.

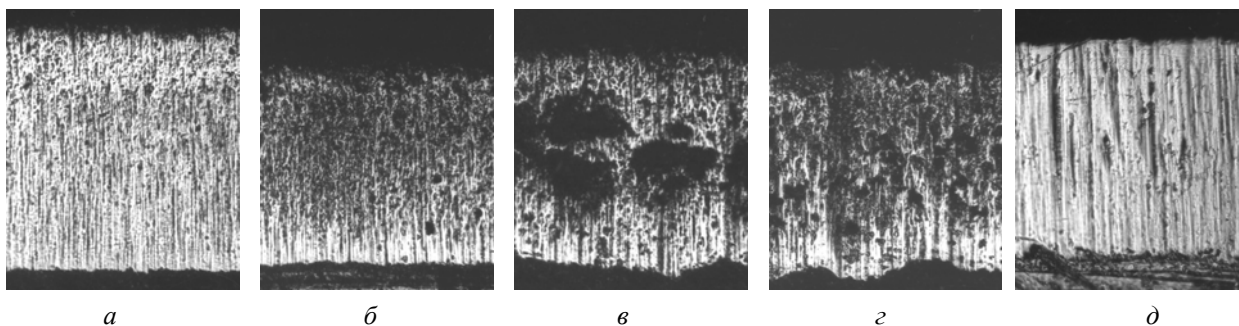


Рис. 2. Топография поверхностей площадок износа ($\times 250$, кроме д):

а – ВК6, $v = 60$ м/мин; б – ТТ20К9, $v = 60$ м/мин; в – Т15К6, $v = 60$ м/мин; г – ТТ20К9, $v = 45$ м/мин; д – ТТ20К9, $v = 17,5$ м/мин ($\times 800$)

Таким образом, при обработке аустенитной стали твердосплавным инструментом в широком диапазоне скоростей резания действуют одновременно и параллельно оба основных механизма износа – диффузионный и адгезионно-усталостный. Основной причиной сохранения в механизме износа твердосплавного инструмента существенной адгезионно-усталостной составляющей вплоть до высоких скоростей и температур резания является неустойчивость стружкообразования. Превалирование одного из механизмов (адгезионно-усталостного или диффузионного) в меньшей, чем от скорости резания, степени зависит от марки инструментального материала. Более прочные вольфрамокобальтовые твердые сплавы имеют явные преимущества по стойкости при небольших скоростях резания, тогда как при скоростной обработке из-за возрастания температуры резания и соответствующего развития диффузионных процессов предпочтение следует отдать титаносодержащему инструменту. Однако неустойчивость стружкообразования и сохранение адгезионно-усталостной составляющей в суммарном износе приводит к тому, что при повышении скорости резания наилучшие результаты начинает показывать не наиболее износостойкий (теоретически) инструмент из T15K6, а титанотанталовый твердый сплав. Выявленные закономерности подтвердились и при проведении стойкостных испытаний резцов с другими величинами переднего угла [10], а также в ходе производственных испытаний [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Липатов, А. А.* Влияние характера зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры на закономерности контактного взаимодействия и

тип стружкообразования / *А. А. Липатов* // СТИН. – 2006. – № 8. – С. 37–40.

2. *Липатов, А. А.* Влияние величины критерия затупления на выбор марки твердого сплава при точении аустенитной стали / *А. А. Липатов* // СТИН. – 2006. – № 6. – С. 16–17.

3. *Липатов, А. А.* Влияние неустойчивости стружкообразования на изнашивание твердосплавного инструмента при резании аустенитной стали / *А. А. Липатов* // СТИН. – 2008. – № 6. – С. 17–19.

4. *Липатов, А. А.* Связь адгезионно-усталостной составляющей механизма износа с неустойчивостью стружкообразования при резании аустенитной стали / *А. А. Липатов* // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4(30) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 3). – С. 51–52.

5. *Талантов, Н. В.* Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / *Н. В. Талантов*. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.

6. *Резников, А. Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов / *А. Н. Резников*. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

7. *Зорев, Н. Н.* Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / *Н. Н. Зорев, З. М. Фетисова*. – М.: Машиностроение, 1966. – 227 с.

8. *Лоладзе, Т. Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента / *Т. Н. Лоладзе*. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

9. *Липатов, А. А.* Влияние характера зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры на тип стружкообразования / *А. А. Липатов* // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4(30) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 3). – С. 49–51.

10. *Липатов, А. А.* Влияние переднего угла на износ твердосплавного инструмента при точении аустенитной стали в условиях неустойчивого стружкообразования / *А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский* // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12(72) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 26–28.

11. *Липатов, А. А.* Работоспособность титанотанталовых твердых сталей при резании труднообрабатываемых сталей / *А. А. Липатов* // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4(19) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 2). – С. 33–35.

УДК 621.9

А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский

ОЦЕНКА РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПО ОБЪЕМНОМУ СОДЕРЖАНИЮ ФАЗ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Предложена оценка режущих свойств твердосплавного инструмента (износостойкости, пластической прочности) по объемному содержанию фаз – карбидов вольфрама, титаносодержащих карбидов, кобальтовой связки. Представлены результаты расчета объемного содержания фаз для отечественных марок твердых сплавов, используемых при обработке металлов резанием. Приведены примеры, подтверждающие справедливость предложенной оценки.

Ключевые слова: твердый сплав, объемное содержание фаз, режущие свойства, износ, пластическая прочность.

Evaluating of cutting properties cemented-carbide tool (an endurance, plastic durability) under the volumetric maintenance of phases - wolfram carbide, titanous carbides, a cobalt bundle is tendered. Results of calculation of the volumetric maintenance of phases for domestic stamps of the hard-alloy used at a treatment of metals by cutting are presented. The instances acknowledging validity of the tendered evaluating are yielded.

Keywords: hard-alloy, the volumetric maintenance of the phases, cutting properties, a wear, plastic durability.

О режущих свойствах твердых сплавов традиционно судят по весовому содержанию входящих в их состав компонентов (находящему отражение в буквенно-цифровом обозначении марок твердых сплавов). Логичнее судить о режущих свойствах по объемному содержанию фаз – Co, WC, (Ti, W)C, (Ti, Ta, W)C – в спеченном твердосплавном изделии. Действительно, именно от объемного содержания фаз в твердом сплаве зависит удельная площадь контакта обрабатываемого материала с той или иной фазой твердого сплава, а следовательно, и интенсивность диффузионного износа инструмента. От объемного содержания фаз зависит площадь межфазных контактов в самом твердом сплаве, то есть силы, удерживающей карбидные зерна в инструментальном материале, и соответственно интенсивность износа по адгезионно-усталостному механизму. Наконец, от объемного содержания фаз зависит прочность

твердого сплава – как способность сопротивляться хрупким сколам и разрушениям, так и сопротивление пластической деформации при наличии возникающих в процессе резания высоких давлений и температур.

Для определения объемного содержания фаз в используемых для обработки металлов резанием твердых сплавах был произведен расчет, в качестве исходных данных для которого использовались справочные данные о плотности карбидов WC, TiC, TaC и кобальта, а также известное весовое соотношение $TiC : WC = 33 : 67$ в сложных карбидах [1]. Сложные карбиды твердых сплавов представляют собой взаимные твердые растворы WC, TiC и TaC [2]. Поэтому считалось, что объемные изменения при образовании твердого раствора малы, а удельный объем последнего представляет собой линейную функцию весовой концентрации компонентов [3].

Результаты расчетов объемного содержания фаз в твердых сплавах, используемых для резания металлов

Твердый сплав	Объемное содержание фаз в твердом сплаве, %			Весовое содержание компонентов сложных карбидов, %		
	WC	(Ti,W)C (Ti,Ta,W)C	Co	WC	TiC	TaC
ВК6, ВК6М	89,9	–	10,1	–	–	–
ВК8	86,7	–	13,3	–	–	–
ВК10, ВК10М	83,6	–	16,4	–	–	–
ВК6ОМ*	89,9	–	10,1	–	–	–
ВК10ОМ*	83,6	–	16,4	–	–	–
Т5К12	60,6	21,8	17,6	67	33	–
Т5К10**	60,6	26,2	13,2	67	33	–
Т14К8	36,2	53,5	10,3	67	33	–
Т15К6	35,3	57,0	7,7	67	33	–
Т30К4	11,6	84,0	4,4	67	33	–
ТТ8К6***	55,3	28,5	8,7	61,9	30,5	7,6
ТТ7К12	61,7	20,5	17,9	53,7	26,5	19,8
ТТ10К8Б	67,0	20,6	12,5	37,9	18,6	43,5
ТТ20К9	43,6	43,8	12,6	44,8	22,1	33,1

* В марки ВК6ОМ и ВК10ОМ для измельчения зерна добавляется 2 % TaC

** Твердый сплав Т5К10 содержит 6 % TiC и 9 % кобальта (в весовых %)

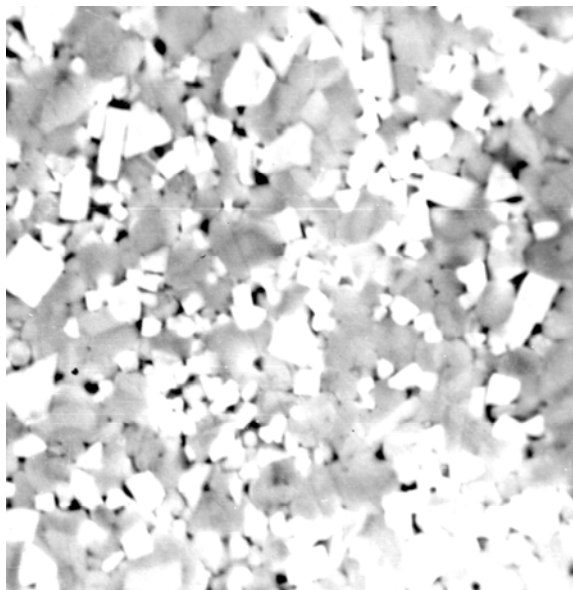
*** Твердый сплав ТТ8К6 содержит 8 % TiC и 2 % TaC (в весовых %).

Результаты расчетов представлены в таблице. Здесь же приведены данные о весовом содержании компонентов в сложных титаносодержащих карбидах (для сплавов группы ТТК они получены расчетом).

В качестве иллюстрации полученных результатов на рисунке представлена растровая микрофотография структуры твердого сплава Т15К6, из которой видно, что титаносодержащие карбиды (имеющие округлую форму и бо-

лее темные на растровом изображении, чем имеющие форму многоугольников карбиды вольфрама WC) занимают более половины площади микрофотографии.

Даже беглый анализ данных таблицы подтверждает правильность предположения о более корректной оценке режущих свойств твердых сплавов по *объемному* содержанию фаз. Так, твердый сплав Т5К10 содержит всего 6 % (весовых) карбида титана. Однако объемное со-



Структура твердого сплава Т15К6
(растровая микроскопия, $\times 2500$)

держание в нем титаносодержащих карбидов превышает четверть, что резко увеличивает устойчивость инструментального материала в условиях диффузионного износа. Кроме того, объемное содержание кобальтовой связки в Т5К10 оказывается не большим, а практически таким же, как и в твердом сплаве ВК8. Все это и обуславливает широкое применение Т5К10 (в отличие от ВК8) при обработке углеродистых и низколегированных сталей [4, 5 и др.].

Сравнение расчетных данных для твердых сплавов Т15К6 и ТТ20К9 показывает, что объемное содержание титаносодержащих карбидов в ТТ20К9 не выше (как можно было бы судить по обозначению), а ниже, чем в Т15К6. Это (в сочетании с большим объемным содержанием связки) обуславливает преимущество инструмента из ТТ20К9 перед резцами из Т15К6 при точении аустенитных сталей в условиях неустойчивости стружкообразования за счет лучшей сопротивляемости сохраняющемуся вплоть до высоких скоростей резания адгезионно-усталостному износу [6, 7] (разумеется, речь идет об основном виде износа – по задней поверхности; интенсивность лункообразования, при полном преобладании износа диффузионного, ниже, напротив, у Т15К6). Этот вывод подтвердился и при проведении стойкостных испытаний резцов из Т15К6 и ТТ20К9 в условиях варьирования (в достаточно широком диапазоне) переднего угла [8].

Вопреки впечатлению, которое могло бы сложиться исходя из буквенно-цифрового обо-

значения твердых сплавов ТТ10К8Б и ТТ8К6, объемное содержание сложных титаносодержащих карбидов в ТТ8К6 существенно (на 40 %) выше. Стойкостные испытания этих сплавов при точении стали 12Х18Н10Т показали, что интенсивность лункообразования для инструмента из ТТ8К6 в 1,2 раза ниже [9].

Наконец, объемное содержание связки в твердом сплаве ТТ20К9 не больше, а практически такое же, как и в ТТ10К8Б. В сочетании с более чем вдвое большим объемным содержанием титаносодержащих карбидов это обеспечивает инструменту из ТТ20К9 большое преимущество по пластической прочности: при точении стали 12Х18Н10Т у резцов из ТТ20К9 (в сравнении с ТТ10К8Б) была отмечена в 2,5 раза меньшая интенсивность пластического опускания режущей кромки (и в 1,5 раза меньшая интенсивность износа задней поверхности) (похожий результат получен и для случая обработки высокопрочной мартенситной стали ЭИ 961 [10]). Преимущество твердого сплава ТТ20К9 в условиях полустойкого точения аустенитных сталей подтвердилось при внедрении в производство. Напротив, в ходе производственных испытаний при черновом точении как аустенитных, так и термообработанных до высокой твердости высоколегированных сталей за счет большей сопротивляемости хрупким разрушениям преимущество по стойкости (в 1,1–1,5 раза) имели резцы из ТТ10К8Б (при обработке по корке и с ударом инструменты из ТТ20К9 показали неприемлемые результаты) [9].

Дальнейшее перечисление примеров, подтверждающих представленный на обсуждение тезис об оценке режущих свойств твердых сплавов по объемному содержанию фаз, потребовало бы привлечения огромного объема экспериментального материала (для подтверждения или опровержения читатель может рассмотреть и собственные результаты). Кроме того, авторы не претендуют на создание какой-либо универсальной формулы, позволяющей по объемному содержанию фаз в твердом сплаве «вычислить» его режущие свойства (особенно для сплавов группы ТТК, для которых химический состав титаносодержащих карбидов вариативен – см. таблицу). Содержание данной статьи следует рассматривать как предложение инструментария для анализа результатов исследований при резании металлов и, в некоторой степени, при исследовании свойств твердых сплавов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чапорова, И. Н. Изучение влияния добавок карбида тантала на структуру и свойства твердого раствора (Ti,W)C / И. Н. Чапорова, Р. Ф. Короткова // Твердые сплавы: Труды ВНИИТС № 8. – М.: Металлургия, 1969. – С. 243–255.
2. Третьяков, В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В. И. Третьяков. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
3. Лившиц, Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
4. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
5. Полянчиков, Ю. Н. Повышение производительности на операциях токарной обработки подшипника / Ю. Н. Полянчиков, В. В. Лытов, А. И. Курченко // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 1). – С. 41–42.
6. Липатов, А. А. Влияние неустойчивости стружкообразования на изнашивание твердосплавного инструмента при резании аустенитной стали / А. А. Липатов // СТИН. – 2008. – № 6. – С. 17–19.
7. Липатов, А. А. Связь адгезионно-усталостной составляющей механизма износа с неустойчивостью стружкообразования при резании аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4(30) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 3). – С. 51–52.
8. Липатов, А. А. Влияние переднего угла на износ твердосплавного инструмента при точении аустенитной стали в условиях неустойчивого стружкообразования / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12(72) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 6). – С. 26–28.
9. Липатов, А. А. Работоспособность титанотанталовых твердых сплавов при резании труднообрабатываемых сталей / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4(19) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 2). – С. 33–35.
10. Липатов, А. А. Работоспособность твердосплавного инструмента при точении высокопрочной мартенситной стали / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2011. – № 12. – С. 17–19.

УДК 004.82

*Л. А. Маликова, Г. В. Ханов***ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПО ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИИ ВЕТРОУСТАНОВОК
НА СТАДИИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: ngig@vstu.ru

В работе рассматривается одна из возможных структур представления знаний в системах поддержки принятия инженерных решений. Такой подход к консолидации информации позволит успешно добавлять знания в систему и производить эффективную обработку имеющихся. Что поможет более аргументированно и действительно конструировать ветроустановки на начальных этапах проектирования.

Ключевые слова: экспертная система, проектирование ветроустановок, система поддержки принятия инженерных решений.

In this paper we consider one of the possible structures of knowledge representation in support systems for taking engineering decision. This approach in consolidation of information will allow, to successfully add data to the system and to make effective treatment available ones. That will help to construct wind turbines in the early stages of design more convincingly and effectively.

Keywords: expert system, wind turbines design, support systems for taking engineering decision.

Множество конструктивных решений ветроустановок (ВЭУ) требует при их проектировании использовать экспертные системы или системы поддержки принятия решений (СППР). Эти системы используют знания специалистов в некоторой конкретной специализированной области и в пределах этой области способны принимать решения. Архитектура СППР должна обеспечивать: компетентность; способность к рассуждениям на основе символических преобразований; способность использовать как общие, так и частные схемы рассуждений; способность к переформулированию за-

просов и задач; способность к рассуждению о собственной структуре и работе.

Система организации знаний (СОЗ) должна содержать пять основных компонентов: базу знаний, блок вывода, блок объяснения решения, блок приобретения знаний, интеллектуальный интерфейс общения (рис. 1). Взаимодействие с СОЗ осуществляется или через интеллектуальный интерфейс общения, или на проблемно-ориентированном языке неформального типа, или путем указания правильных ответов на вопрос системы из предлагаемого списка возможных вариантов ответа. В послед-

нем случае инициатором диалога всегда выступает СОЗ. Описание задачи – проблема поступает в блок логического вывода, который, используя информацию из базы знаний, генерирует необходимые рекомендации по решению проблемы. С помощью блока объяснения решения происходит отображение промежуточных и окончательных решений заданной проблемы, пояснение для пользователя системы. Функция блока приобретения знаний состоит в поддержке процесса извлечения знаний в соответствующей проблемной области и их проверке на непротиворечивость с имеющимися в базе знаний.

К основным видам знаний относятся факты и операционные знания. Факты представляют собой возможные знания о сущностях, составляющих некоторую область знаний. Операционные знания составляет информация о способах изменения фактических знаний.

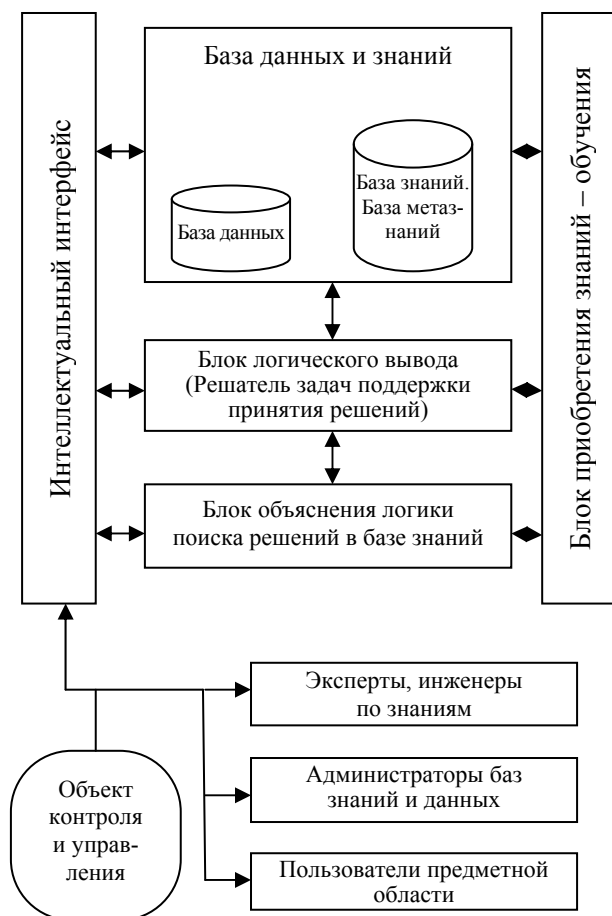


Рис. 1. Общая структура архитектуры СОЗ

Способ представления знаний включает два аспекта: способ организации знаний и модель представления. При организации знаний их подразделяют на знания низкого и более высоко-

кого уровня (метазнания), а также знания о логической и физической структуре знаний.

Для функционирования СОЗ требуются следующие знания:

- о процессе решения задачи;
- языке общения и способах организации диалога;
- способах представления и способах модификации знаний.

Остановимся подробнее на способах представления знаний для базы знаний СОЗ. Наилучшее представление конструкторской информации в этом случае дает блочно-семантическая сеть [Геловани, В. А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В. А. Геловани, А. А. Башлыков, В. Б. Бритков, В. Д. Вязилов. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.], которая представляет собой теоретико-графовую структуру с помеченными вершинами и дугами. Вершинами могут быть предметы (понятия), события (действия), свойства (места), а дугами – отношения, которые делятся на лингвистические, логические, теоретико-множественные, квантификационные. В свою очередь, можно разделить лингвистические отношения на глагольные (время, вид, род, число, залог, наклонение) и атрибуционные (цвет, размер, форма, модификация); логические – на дизъюнкцию, конъюнкцию, отрицание, импликацию; теоретико-множественные – на подмножества и квантификационные подмножества – на логические кванторы (много, несколько) и числовые характеристики.

Знания, необходимые для конструирования ВЭУ, представим в виде блочно-семантической сети (рис. 2). Сеть построена на основе сети Хендрикса: вершина «ВЭУ» – универсальный класс, который объединяет различные объекты, далее три подкласса основных частей ветроустановок. Разные стрелки обозначают различные отношения между объектами (сплошные направленные – отношения включения, сплошные ненаправленные – однозначные жесткие связи, пунктирные направленные – отношения включения в состав устройства).

Семантическая сеть имеет блочный характер, каждый блок – это вершина с множеством входов (несколько вершин), каждая вершина и каждая дуга сети принадлежит одному или нескольким блокам. Таким образом, разбиение сети на блоки дает возможность для образования иерархии блоков. При помощи блоков в сети имеется возможность представлять комбинацию кванторов общности и существования.

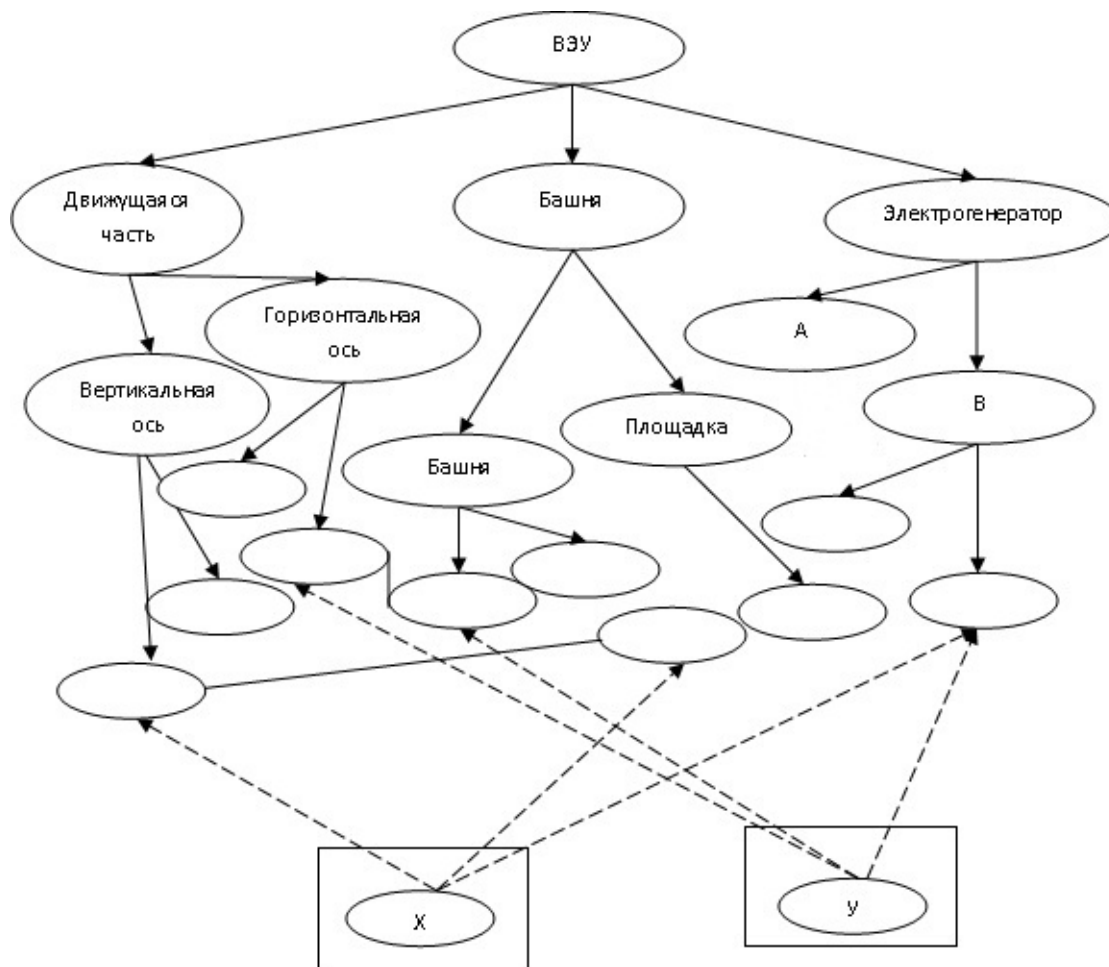


Рис. 2. Блочнo-семантическая сеть представления знаний в СППР для конструирования ВЗУ

Можно скомпоновать несколько блоков в пучок блоков. Эта идея применяется при извлечении информации из сети, когда выгодно иметь только определенный список данных, из которого удобно выбирается информация. Все структуры, лежащие вне «полезного пучка» блоков, будут игнорироваться. Сохраняется ро-

довая иерархия выборки блоков.

Таким образом, в предлагаемой блочно-семантической сети возможно задавать не только входящие компоненты, но и связи между ними, что помогает решать проблему принятия решения даже в тех случаях, когда взаимосвязи неоднозначны.

УДК 621.9.015: 658.512

А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, А. А. Шмаров, Д. С. Клейков

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Обоснована возможность регулирования точности токарной обработки нежестких валов за счет изменения величины подачи с учетом оперативной информации о физико-механических и технологических свойствах контактной пары.

Ключевые слова: точность токарной обработки, сила резания, стрела прогиба вала, технологические свойства контактной пары.

The analysis of the literature and propose an alternative way to control the accuracy of turning non-rigid shafts due to change of the value of feed.

Keywords: precision turning, cutting force, an arrow of deflection of the shaft, the technological properties of the contact pair.

Повышение точности токарной обработки на сегодняшний момент является одним из наиболее актуальных вопросов в технологии машиностроения и теории резания. Станочное оборудование, оснащенное системами ЧПУ на базе персональных компьютеров, обладает высокой дискретностью перемещений, функциями корректировки траекторий движения резца, учета износа режущей кромки и т. д. Однако, несмотря на все технические возможности, точность обработки не всегда соответствует заданной.

В настоящее время вопросами повышения точности токарной обработки занимаются различные авторы: В. И. Жиганов, Ю. Н. Санкин, В. А. Лизогуб, А. А. Кобзев, Л. К. Генералов и многие другие. Их работы связаны с повышением точности обработки за счет увеличения жесткости технологической системы и балансировки; исследованием влияния узлов токарных станков на точность обработки, а также проектированием новых узлов [1]; анализом инерционности существующих систем и созданием динамических моделей для регулирования реального процесса резания [2]. Отдельно стоит отметить работы В. В. Юркевича [3], разработавшего устройство для автоматического управления точностью токарного станка, которое состоит из устройства создания повышенного натяга в передней опоре шпинделя и виброгасителя фрикционно-динамического типа. Точность при данном методе регулирования обеспечивается за счет изменения траектории оси детали или движения резца. В. В. Юркевич также спроектировал устройство [4] для измерения силы резания, значения которой необходимы для регулирования точности. Это устройство измеряет изменения положения оси заготовки во время обработки и на основе выведенных закономерностей с помощью программного комплекса рассчитывает текущие значения силы резания.

Анализируя указанные работы, следует отметить, что основная часть исследований может иметь хорошие практические результаты, но, как правило, лишь в рамках отдельно взятой лаборатории. Это связано с достаточно высокой стоимостью устанавливаемых измерительных датчиков, оборудования, программного обеспечения и высокой квалификацией исполнителей.

При точении деталей типа «вал» под действием радиальной составляющей силы резания P_y возникает прогиб U_c , из-за которого в про-

цессе обработки неизбежно появляются погрешности формы, такие как бочкообразность и конусообразность. Снизить и определить величину данных погрешностей можно, используя различные способы закрепления, которые сводятся к четырем основным схемам:

– схема 1 – закрепление детали в патроне или на оправке консольно: схема закрепления показана в виде консольной балки, защемленной одним концом и нагруженной сосредоточенной силой P_y (радиальной составляющей силы резания);

– схема 2 – закрепление детали в патроне или на оправке с поджатием свободного конца центром задней бабки (с опорой свободного конца на люнет);

– схема 3 – закрепление детали в центрах без люнета;

– схема 4 – закрепление детали в центрах с люнетом в середине пролета.

Прогиб под действием силы резания для каждого из приведенных выше случаев определяется по формулам (1–4) соответственно:

$$U_c = \frac{P_y \cdot (L_{\text{дет}} - x_p)^3}{3 \cdot 10^3 \cdot E \cdot J}; \quad (1)$$

$$U_c = \frac{P_y}{12 \cdot E \cdot J} \cdot \left(\frac{x_p^2 \cdot (L_{\text{дет}} - x_p)^3 \cdot (3 \cdot L_{\text{дет}} - x_p)}{L_{\text{дет}}} \right); \quad (2)$$

$$U_c = \frac{P_y \cdot x_p^2 \cdot (L_{\text{дет}} - x_p)^2}{3 \cdot E \cdot J \cdot L_{\text{дет}}}; \quad (3)$$

$$U_c = \frac{P_y \cdot x_p^2 \cdot (0,5 \cdot L_{\text{дет}} - x_p)^2}{1,5 \cdot E \cdot J \cdot L_{\text{дет}}}, \quad (4)$$

где $L_{\text{дет}}$ – длина детали, выступающей из патрона, мм; x_p – расстояние от правого торца до места приложения силы, мм; E модуль нормальной упругости, кг/мм²; J – момент инерции сечения заготовки в месте прогиба в мм⁴.

Прогиб U_c не должен превышать допустимой величины прогиба $[y]$, которая в свою очередь зависит от установленного уровня относительной геометрической точности:

$$U_c \leq [y]. \quad (5)$$

Для цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения относительная геометрическая точность для уровней A , B и C составляет 30, 20 и 12 % соответственно, так как эти отклонения относятся к радиусу, а отклонения радиуса – к диаметру [7]. Тогда, учитывая вышесказанное, при продольном точении валов справедливо следующее выражение:

$$[y]_{A,B,C} \leq k_{A,B,C} \cdot Td, \quad (6)$$

где Td – допуск на размер, $k_{A,B,C}$ – относительная геометрическая точность.

Анализируя приведенные выше формулы (1–4), можно отметить, что наибольшую ошибку в расчет прогиба заготовки вносит величина радиальной составляющей силы резания P_y . Расхождения в значениях P_y при расчете по разным справочникам достигают 200 % и более [6]. Неточности же в определении геометрических размеров и механических характеристик крайне малы, и вносимая ими погрешность составляет менее 10 %.

В общем виде формулу для расчета сил резания можно записать [7]:

$$P_y = C_{P_y} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot K_{P_y} \quad (7)$$

Причина ошибок традиционных методов расчета силы резания [7] заключается в неполном учете влияния колебания свойств обрабатываемого и инструментального материалов внутри их марочного состава на силы резания. Коэффициент, учитывающий влияние инструментального и обрабатываемого материала на силы резания, принят постоянным, однако колебание химического состава в пределах допуска может приводить к существенным изменениям физико-механических свойств контактной пары инструмент–заготовка [6, 8]. Согласно положениям условной схемы резания [8], предполагается, что с ростом предела прочности обрабатываемого материала составляющие силы резания будут возрастать. Однако практика показывает, что это предположение не работает при скоростях выше зоны наростообразования. Это связано с тем, что в условиях высокоскоростного резания интегральная сумма сил, действующих на переднюю грань инструмента, определяется не только величиной действующих напряжений, но и суммарной длиной участков пластического и вязкого контакта, что определяется теплопроводностью контактируемых пар.

В работах [5, 6] предлагается альтернативный термоэлектрический способ определения составляющих силы резания. Суть метода заключается в получении данных о термоЭДС каждой контактной пары «инструмент–заготовка» во время пробного прохода на определенных режимах резания и расчете значений силы резания по измененным зависимостям. В этом способе величина термоЭДС используется не как традиционная характеристика уровня температур в зоне резания, а как интегральный показатель физико-механических свойств конкретной контактной пары. Кратковременный

пробный проход является своеобразным предварительным тестированием свойств заготовки и резца, а величина термоЭДС – мерой соотношения этих свойств. Более подробно данный метод описан в литературе [5, 6, 9–12].

Формула расчета P_y принимает следующий вид:

$$P_{x,y,z} = (A_y + k_y \cdot E) \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{z_p} \quad (8)$$

где E – термоЭДС, измеренная при пробном проходе, мВ; A_y, k_y – постоянные, определенные из условий обработки.

Ошибка расчета составляющих силы резания по предлагаемому способу составляет 12–15 % [5, 6], что значительно меньше по сравнению с традиционными методиками расчета. Получение оперативной информации из зоны резания о свойствах каждой контактной пары позволяет, используя формулы (1–4), обеспечить более надежный расчет параметров точности обработки.

Таким образом, очевидно, что, зная достоверное значение силы резания и регулируя значения подачи, глубины или скорости резания, можно добиться необходимых результатов по точности обработки. При уменьшении подачи существенные потери возникают лишь в производительности процесса обработки, качество поверхности при этом улучшается (конечно, учитывая формулу Чебышева, лишь до определенного момента). Следовательно, выгоднее всего регулировать точность, изменяя значение подачи S .

Регулирование точности обработки изменением подачи может быть выполнено несколькими способами (рис. 1):

а) определение подачи по максимальному значению прогиба заготовки. Тогда подача на протяжении обработки конкретной ступени вала будет постоянна. Такой подход достаточно прост, но сопровождается большой потерей производительности. Величину подачи можно определить по формуле:

$$S = \sqrt[3]{\frac{y_{max} \cdot k_3 \cdot E \cdot J}{L^3 \cdot (A_y + k_y \cdot E) \cdot t^{x_p} \cdot V^{z_p}}} \quad (9)$$

где k_3 – коэффициент, определяющий способ закрепления заготовки ($k_3 = 3 \dots 102$ в зависимости от способа закрепления детали); E' – термоЭДС, мВ;

б) плавное регулирование подачи пропорционально изменению значения прогиба заготовки на пути следования резца. Данный способ наиболее выгоден в плане производительности, но и наиболее сложен с точки зрения

реализации в системе ЧПУ. Величина подачи в каждой координате определяется из выражений (1–4) и (8). Например, для описанной ранее схемы 1 формула примет следующий вид:

$$S_i = \sqrt[3]{\frac{y_i \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot E \cdot J}{(L_{заг} - x_i)^2 \cdot (A_y + k_y \cdot E') \cdot t^{2p} \cdot V^{2p}}}, \quad (10)$$

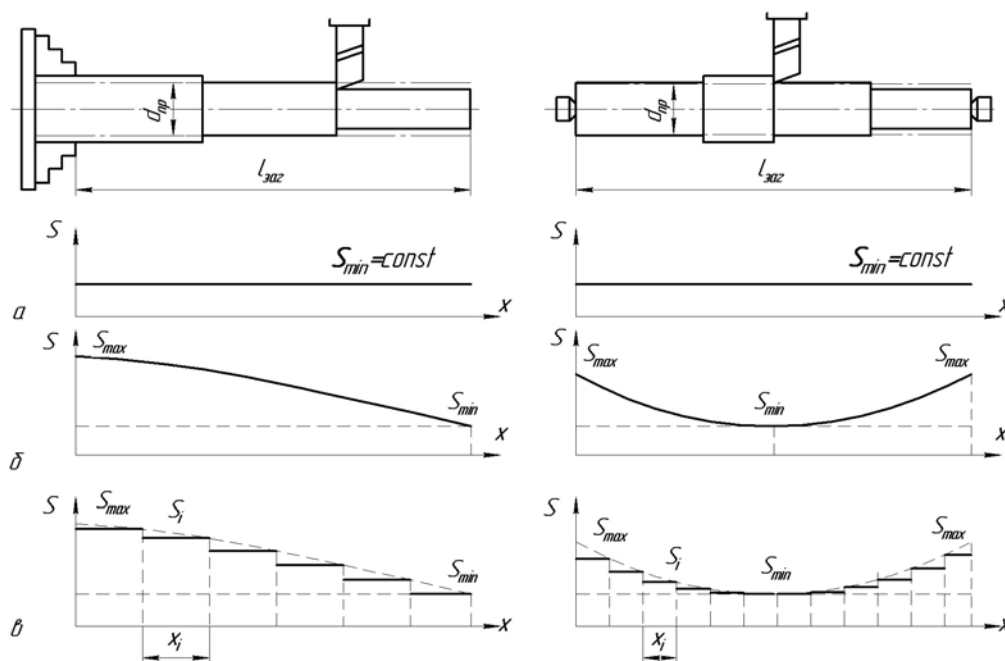


Рис. 1. Способы регулирования точности за счет изменения подачи

Нормирование технологических переходов при ступенчатом регулировании подачи на стадии проектирования технологического процесса можно осуществлять по средней величине подачи.

В литературе [13] был предложен алгоритм коррекции износа резца по усилию резания за счет изменения значения подачи. По сути, этот алгоритм реализует способ плавного регулирования подачи и (в несколько адаптированном к вышеописанному термоэлектрическому методу коррекции точности виде) включает следующие этапы:

в) ступенчатое регулирование подачи. Через некоторый отрезок пути резца подача будет изменяться, исходя из значений прогиба заготовки в конкретной координате. Способ достаточно прост с точки зрения реализации, а потери производительности тем меньше, чем меньше принятая длина одного отрезка.

1. Определение [6] в соответствии с параметрами обрабатываемой поверхности расчетного значения силы резания $P_{ур}$ и режимов обработки.

2. Выполнение пробного прохода (несколько оборотов) на указанных в управляющей программе режимах резания.

3. Измерение с помощью датчика обратной связи, фактической величина силы резания $P_{уф}$ в зоне контакта инструмент–заготовка.

4. Сравнение в блоке коррекции программы системы ЧПУ, сравнение значений фактической и расчетной силы резания. В случае несо-



Рис. 2. Функциональная схема регулирования подачи в типовой системе ЧПУ

падения значений $P_{уф}$ и $P_{ур}$ выполняется регулирование подачи S в соответствии с формулой (10) по принципу: если $P_{уф} > P_{ур}$, то значение подачи уменьшается; если $P_{уф} < P_{ур}$, то значение подачи увеличивается; если $P_{уф} = P_{ур}$, то значение подачи остается неизменным.

Функциональная схема регулирования подачи в типовой системе ЧПУ представлена на рис. 2 [13].

Таким образом, применение альтернативного метода расчета режимов резания [6] позволяет повысить точность токарной обработки нежестких валов за счет уменьшения ошибки в расчете радиальной составляющей силы P_y . На основе описанного выше способа регулирования точности путем изменения значения подачи можно разработать программный модуль и встроить его в систему ЧПУ станка. Данные о значениях термоЭДС различных сочетаний контактных пар инструмент–заготовка необходимо дополнять и систематизировать, что позволит технологам производить расчеты с большей степенью надежности уже на стадии проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лизогуб, В. А. Влияние проектных параметров узлов токарного станка и режимов резания на точность обработки / В. А. Лизогуб // СТИН. – 2007. – № 3. – С. 8–10.
2. Кобзев, А. А. Модель процесса токарной обработки в системе автоматического управления / А. А. Кобзев, Л. К. Генералов // СТИН. – 2008. – № 11. – С. 26–29.
3. Юркевич, В. В. Устройства для управления траекториями формообразующих элементов токарного станка / В. В. Юркевич, А. В. Корнилова // Техника машиностроения. – 2002. – № 4. – С. 4–10.
4. Юркевич, В. В. Измерение силы резания на токарном станке / В. В. Юркевич, А. А. Митропольский // Вестник МГТУ «Станкин». – 2011. – № 2(14). – С. 38–39.
5. Плотников, А. Л. Новая методика построения модулей расчета режимов резания в САПР ТПП механической обработки / А. Л. Плотников [и др.] // СТИН. – 2009. – № 2. – С. 19–25.
6. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников, А. О. Таубе; ВолгГТУ. – Волгоград, 2003. – 184 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
8. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.
9. Плотников, А. Л. Проблемы обеспечения расчетной точности токарной обработки в САПР ТП и методы их решения / А. Л. Плотников, Э. И. Мустафаев, А. А. Шмаров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 87–91.
10. Плотников, А. Л. САПР для расчета и коррекции режимов обработки на станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. М. Фролов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9(47) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 91–94.
11. Фролов, Е. М. Зависимость для автоматизированного определения скорости резания в условиях черногого точения / Е. М. Фролов, А. Л. Плотников // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 53–55.
12. Плотников, А. Л. Проблема выбора рациональных усилий зажима на токарных станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. Н. Смирнова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 91–95.
13. Неизвестных, А. Г. Способ контроля состояния режущего инструмента по усилию резания на станках с ЧПУ / А. Г. Неизвестных, А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 6 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 3). – С. 71–73.

УДК 621.91.01

Ю. Н. Полянчиков, А. Р. Ингеманссон, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. А. Бондарев

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СНИЖЕНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Снижение сил резания при обработке с опережающим пластическим деформированием (ОПД) обосновано с позиций дислокационных представлений о резании металлов и закономерностей высокоскоростного пластического деформирования в зонах стружкообразования и контактного взаимодействия.

Ключевые слова: резание, опережающее пластическое деформирование (ОПД), дислокации, силы, напряжения, микротвердость.

The decrease of cutting forces at machining with advancing plastic deformation (APD) is proved from the positions of the dislocations conceptions in metalcutting and the regularities of high-speed plastic deformation in the zones of chipformation and contact interaction.

Keywords: cutting, advancing plastic deformation (APD), dislocations, forces, stress, microhardness.

Применение ОПД при резании является средством повышения работоспособности режущего инструмента, производительности обработки и качества обработанных поверхностей. Исследование физических основ повышения эффективности процесса резания при использовании ОПД является актуальной задачей, направленной на обеспечение возможности практического применения способа резания и расширения научной базы для совершенствования комбинированной обработки. В данной работе представлены результаты исследования механизма снижения сил резания при обработке с ОПД с позиций дислокационных представлений о резании металлов [1] и закономерностей высокоскоростного пластического дефор-

мирования в зонах стружкообразования и контактного взаимодействия [2].

Экспериментальные исследования выполнялись для полустогового и чистового точения. Измерения сил резания производились посредством динамометра ДКМ 2010 («TeLC», Германия), интегрированного с ПК. Для определения режима осуществления ОПД использовалась предложенная характеристика комбинированной обработки – «коэффициент ОПД»:

$$K_{\text{ОПД}} = \frac{h_{\text{нак}}}{t_{\text{рез}}},$$

где $h_{\text{нак}}$ – глубина наклепанного слоя, созданного на этапе ОПД, мм; $t_{\text{рез}}$ – глубина резания, мм.

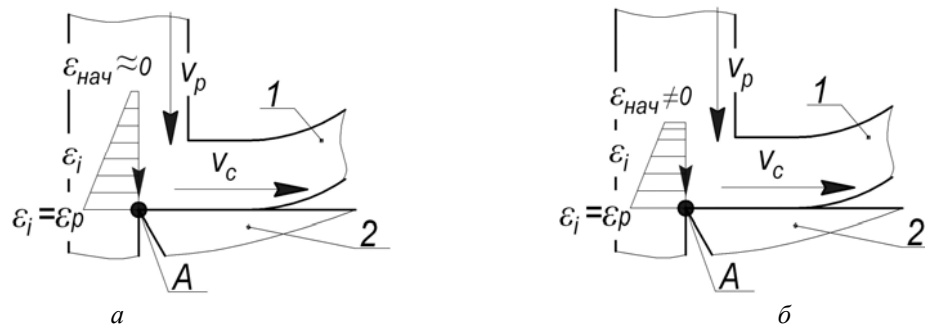


Рис. 1. Схема пластического деформирования и разрушения обрабатываемого материала, сопровождающих отделение срезаемого слоя, при точении:

а – традиционное точение; *б* – точение с ОПД; 1 – сходящая стружка; 2 – режущий клин; А – очаг разрушения (отделения срезаемого слоя); v_p – вектор скорости резания; v_c – вектор скорости перемещения стружки; $\epsilon_{\text{нач}}$ – начальная степень деформации обрабатываемого материала, попадающего в зону опережающего упрочнения (зона формируется напряжениями, приложенными со стороны рабочих поверхностей режущего клина); ϵ_i – текущее значение степени деформации обрабатываемого материала; ϵ_p – значение степени деформации обрабатываемого материала, соответствующее его разрушению

Согласно схеме, представленной на рис. 1, ОПД создает в поверхностном слое обрабатываемой детали упрочненный слой определенной глубины и степени наклепа, характеризующийся большей плотностью несовершенств кристаллической решетки (дислокаций) по сравнению с материалом в исходном состоянии. Отсюда следует, что частицы металла, поступающие в зону опережающего упрочнения, создаваемую режущим инструментом, обладают повышенной величиной деформации. Поэтому уменьшение величины работы, затрачиваемой на зарождение, продвижение дислокаций и доведение их плотности вблизи кромки лезвия до критического значения, соответствующего разрушению, обуславливает снижение интегральной суммы напряжений, действующих в зоне опережающего упрочнения при резании с ОПД по сравнению с традиционной

обработкой. Данное явление способствует уменьшению величины реакции, приложенной к передней поверхности инструмента, то есть тангенциальной составляющей силы резания P_Z (табл. 1).

Эффект технологической наследственности при пластической деформации резанием, описанный в работе [1], служит еще одним объяснением увеличения обрабатываемости материалов при использовании ОПД. Проявление наследственности заключается в том, что в предварительно упрочненном слое металла уже имеются источники дислокаций, а также дефекты в плоскостях скольжения, которые не потеряли способности к дальнейшему движению. Поэтому при дополнительном воздействии на металл (резание вслед за ОПД) имеющиеся источники несовершенств продолжают испускать новые дислокации, а старые продол-

Таблица 1

Значения тангенциальной P_z , радиальной P_y и осевой P_x составляющих силы резания, Н

Режимы и условия обработки	Традиционное точение			Точение с ОПД		
	P_z	P_y	P_x	P_z	P_y	P_x
Сталь 20Х13–твердый сплав Т15К6; $t_p = 1$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{опд} = 2$.	726	532	556	616	447	471
Сталь 14Х17Н2–твердый сплав ВК6; $t_p = 1,5$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{опд} = 0,8$.	1055	631	843	936	553	748
Сталь 13Х11Н2В2МФ–твердый сплав Т15К6; $t_p = 0,5$ мм; $v_p = 180$ м/мин; $s_o = 0,083$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{опд} = 1,6$.	194	322	225	172	270	185

жают перемещаться при меньшем уровне действующей нагрузки, то есть режущим инструментом затрачивается меньшая работа на доведение их плотности до соответствующего разрушению значения.

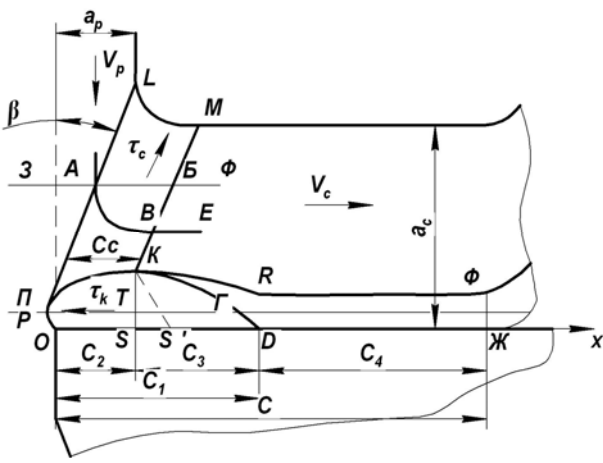


Рис. 2. Реальная схема процесса резания [2]

После локального разрушения обрабатываемого материала у режущей кромки объемы металла вовлекаются в зоны вторичных деформаций на задней и передней поверхностях. Частицы, движущиеся в направлении последней, перемещаются через зоны стружкообразования (область $PKML$ на рис. 2) и контактного пластического деформирования (КПД) (область $OPKRD$ на рис. 2). При использовании ОПД в зоны стружкообразования C_c и упрочнения КПД C_2 поступает металл, обладающий меньшей пластичностью по сравнению со случаем традиционной обработки. Помимо этого, ранее охарактеризовано снижение уровня напряжений в зоне первичных деформаций. Указанные обстоятельства ослабляют развитие (распространение) зоны упрочнения КПД по высоте и по длине (C_2), а также обуславливают снижение уровня упрочненности (оценка по микротвердости, рис. 3) объемов зоны вторичных де-

формаций и, следовательно, сопротивления деформированию. Известно [2] существование прямой пропорциональности между характером изменения микротвердости и сопротивлению пластическому деформированию объема металла, перемещающегося в зоне резания. Анализ данных измерения микротвердости (рис. 3) на корнях стружки (рис. 4) свидетельствует об уменьшении средней величины микротвердости в области взаимодействия при использовании ОПД по сравнению с традиционным точением, что обуславливает снижение сопротивления объемов металла, претерпевающих на себе воздействие лезвий, пластическому деформированию.

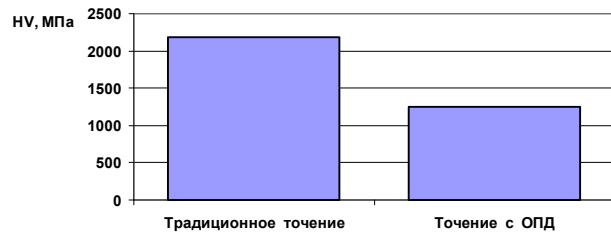


Рис. 3. Средняя микротвердость в контактной зоне на передней поверхности режущего клина (Сталь 14Х17Н2–твердый сплав ВК6; $t_p = 1$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При точении с ОПД $K_{опд} = 1,2$)

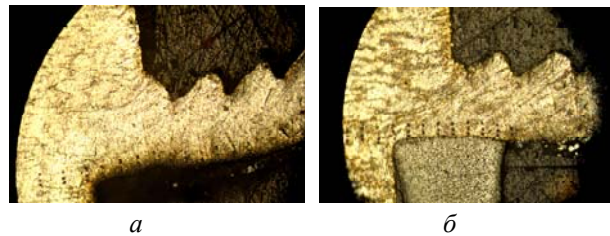


Рис. 4. Корни стружек при точении (Сталь 14Х17Н2 – твердый сплав ВК6; $t_p = 1$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об): а – традиционное точение; б – точение с ОПД ($K_{опд} = 1,2$)

В работе [2] установлено, что процессы, протекающие на участке упрочнения зоны контактных пластических деформаций и в зоне стружкообразования, тесно взаимосвязаны и

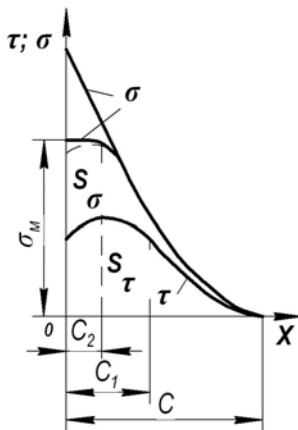
оказывают взаимное влияние друг на друга. Так уменьшение размера участка упрочнения C_2 вызывает увеличение угла сдвига β . Исследованиями обнаружено увеличение значений угла сдвига при точении с ОПД (табл. 2). Это свиде-

тельствует об уменьшении размера участка упрочнения C_2 зоны КПД при точении с ОПД. Уменьшение размера участка упрочнения C_2 вызывает, соответственно, уменьшение длины пластического контакта C_1 .

Таблица 2

Значения углов сдвига β , °

Режимы и условия обработки	Традиционное точение	Точение с ОПД
Сталь 20Х13–твердый сплав ВК6; $t_p = 1$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 2$.	27	30
Сталь 20Х13–твердый сплав Т15К6; $t_p = 0,25$ мм; $v_p = 135$ м/мин; $s_o = 0,147$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 4,8$.	20	25
Сталь 13Х11Н2В2МФ–твердый сплав ВК6; $t_p = 0,5$ мм; $v_p = 135$ м/мин; $s_o = 0,147$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 1,6$.	23	29
Сталь 13Х11Н2В2МФ–твердый сплав ТН20; $t_p = 1$ мм; $v_p = 150$ м/мин; $s_o = 0,147$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 1,2$.	31	37

Рис. 5. Закономерности распределения нормальных σ и касательных τ контактных напряжений по длине взаимодействия

В работе [2] представлен механизм формирования касательной F и нормальной N нагрузок, действующих на режущий клин. При постоянной ширине срезаемого слоя F и N определяются площадями (S_τ) и (S_σ) между кривыми закономерностей распределения контактных нормальных $\sigma = f(x)$ и касательных $\tau = f(x)$ напряжений по длине взаимодействия и осью абсцисс (рис. 5). Решающее влияние на площадь S_τ и, следовательно, на нагрузку F оказывают значения контактных касательных напряжений на границе участков упрочнения и разупрочнения τ_{c2} , размеры пластического C_1 и полного контактов C . С увеличением этих характеристик величина F растет. Площадь S_σ главным образом зависит от размеров областей C_2 и C (с их увеличением нагрузка N растет) и от уровня нормальных напряжений σ на участ-

ке упрочнения, формируемого процессами, протекающими в зоне стружкообразования. Снижение величины касательных напряжений τ_c в указанной зоне и увеличение угла сдвига β способствует уменьшению напряжений σ .

Как отмечалось ранее, уменьшение величины работы, затрачиваемой на зарождение, продвижение дислокаций и доведение их плотности вблизи кромки лезвия до критического значения, соответствующего разрушению, обуславливает снижение интегральной суммы напряжений, действующих в зоне опережающего упрочнения при резании с ОПД по сравнению с традиционной обработкой. Данное явление способствует уменьшению величины реакции, приложенной к передней поверхности инструмента, то есть тангенциальной составляющей силы резания P_Z . Аналогичным образом отражается уменьшение размеров участков упрочнения C_2 , пластического контакта C , а также контактных нормальных напряжений σ за счет сокращения сопротивления пластическому деформированию τ_c (рис. 3) и увеличения угла сдвига β (табл. 2). Указанные факторы определяют снижение тангенциальной составляющей силы резания P_Z при использовании ОПД в среднем на 15–20 % (табл. 1).

Облегчение контактного течения прирезцовых слоев стружки вдоль передней поверхности инструмента за счет ослабления развития (распространения) зоны пластических деформаций способствует снижению осевой P_X и радиальной P_Y составляющих силы резания в среднем на 15–20 % (табл. 1) при точении

с ОПД по сравнению с традиционной обработкой. Уменьшение размеров участков пластического C_1 и полного контактов C , уровня кон-

тактных касательных напряжений и увеличение угла сдвига способствуют снижению величины осевой и радиальной компонент силы резания.

Таблица 3

Значения коэффициента продольной усадки стружки

Режимы и условия обработки	Традиционное точение	Точение с ОПД
Сталь 20Х13–твердый сплав Т15К6; $t_p = 1$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{ОПД} = 2$.	1,92	1,65
Сталь 13Х11Н2В2МФ–твердый сплав ТН20; $t_p = 1$ мм; $v_p = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{ОПД} = 1,2$.	1,54	1,3

Подтверждением благоприятного изменения характера процессов, протекающих в зоне резания при использовании ОПД, является уменьшение значений коэффициента продольной усадки стружки, являющегося комплексным показателем работы сил стружкообразования (табл. 3).

Таким образом, уменьшение величины работы пластического деформирования, затрачиваемой режущим инструментом на отделение срезаемого слоя, напряжений, действующих в зоне резания и соответствующее изменение характера процессов, протекающих в зонах стружкообразования и КПД, обуславливают снижение сил резания при обработке с ОПД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старков, В. К. Дислокационные представления о резании металлов / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.
2. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
3. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки: монография / С. К. Амбросимов, А. Н. Афонин, А. Р. Ингеманссон, А. Н. Исаев, А. В. Киричек, Д. В. Крайнев, А. Р. Лебедев, В. Ф. Макаров, А. В. Морозова, П. А. Норченко, Ю. Н. Полянчиков, Д. Л. Соловьев. – М.: Издат. дом «Спектр», 2011. – 328 с.
4. Improved cutting of steels by means of preceding plastic deformation / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31, № 1. – С. 82–84. – Англ.

УДК 621.91.01

Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, Нгуен Тхань Хунг

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Выполнено комплексное исследование явлений, сопровождающих резание с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности. Экспериментально установлены: снижение сил и температур резания, усадки стружки, неустойчивости процесса и повышение качества обработки, ресурса стойкости инструмента и производительности точения при использовании ОПД. Выполнено обоснование благоприятного влияния способа с позиций физических представлений о процессах, протекающих в зоне резания.

Ключевые слова: резание, механическая обработка, эффективность, опережающее пластическое деформирование (ОПД)

Complex research of the phenomena accompanying cutting with advancing plastic deformation (APD) on a processed surface is executed. Are experimentally established: decrease in forces and temperatures of cutting, instability of process and improvement of quality of processing, a resource of firmness of the tool and productivity of a turning when using OPD. Justification of beneficial effect of a way from positions of physical ideas of the processes proceeding in a zone of cutting is executed.

Keywords: cutting, machining, effectivity, advancing plastic deformation (APD).

Повышение эффективности механической обработки резанием коррозионно-стойких сталей является традиционно важной задачей машиностроения. Неизменными проблемами теории и практики резания металлов являются повышение производительности и качества обработки, снижение энергетических, инструментальных и других материальных затрат. Особые сложности связаны с обработкой коррозионно-стойких сталей. Они заключаются в повышенной упрочняемости и малой теплопроводности данных материалов, а значит, повышенной температуре в зоне резания, большой истирающей способности, переменных силовых и тепловых нагрузках на рабочие поверхности инструмента, одной из причин которых является цикличность процесса стружкообразования. Представленные факторы приводят к формированию неудовлетворительного качества обработанных поверхностей и повышенному износу инструмента. Последнее обстоятельство влечет за собой вынужденное занижение режимов резания и, следовательно, потерю производительности обработки.

Повышение эффективности процесса реализуется за счет применения способа резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности, совмещающего в себе два приема – поверхностное пластическое деформирование, создающее необходимые глубину и степень наклепа, и последующий сьем упрочненного металла в виде стружки.

Механическая обработка выполнялась на модернизированном токарно-винторезном станке модели 1М63 с бесступенчатым регулированием скорости вращения шпинделя. Исследования проводились для продольного точения на полустивых и чистовых режимах в широком диапазоне скоростей резания. В качестве обрабатываемого материала использовался прокат коррозионно-стойких сталей аустенитного, ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов. Режущий инструмент был представлен твердосплавными сменными многогранными пластинами следующих марок – Т5К10, Т15К6, ВК6, ВК8, ТТ7К12 (все Россия), ТН20 (Казахстан), Sandvik-МКТС (Швеция–Россия), IC9250 «Iscar» (Израиль). Выполнялись комплексные экспериментальных исследования физических процессов, протекающих в зоне резания при точении с ОПД, на основе измерения силы резания (динамометр «DKM»

(Германия), интегрированный с персональным компьютером), температуры резания (естественная и искусственная термопары), усадки стружки, микротвердости в зонах контактных деформаций. Выполнялись измерения шероховатости и записывались профилограммы обработанных поверхностей, фиксировались износ по задней грани режущей пластины и другие параметры процесса резания. Измерение шероховатости производилось профилометром-профилографом АБРИС-ПМ7, подключенным к персональному компьютеру. Для осуществления ОПД использовалось спроектированное и изготовленное приспособление (рис. 1) [3]. При выборе режимов осуществления ОПД использовался «коэффициент ОПД» – $K_{\text{опд}}$ [1].



Рис. 1. Приспособление для точения с ОПД

Повышенная плотность дислокаций, созданная в поверхностном слое заготовки на этапе ОПД, обуславливает снижение работы, совершаемой резцом, по доведению обрабатываемого материала до критического деформационно-энергетического состояния в области отделения стружки. Данное явление ответственно за снижение интегральной суммы напряжений, действующих в зоне первичных деформаций, и, следовательно, за уменьшение вертикальной составляющей силы резания и соответствующего тепловыделения при использовании исследуемого способа по сравнению с традиционной обработкой.

Для доведения предварительно деформированного металла до состояния динамического возврата (разупрочнения) требуется меньший объем тепловой энергии, что способствует облегчению течения объемов стружки вдоль передней поверхности резца при снижении мощ-

ности источника тепловыделения в зоне резания. Параллельно с этим уменьшение сопротивления пластическому деформированию в контактных объемах и во фронте сдвига также обуславливает снижение температуры. Указанное обстоятельство совместно с фактом уменьшения вертикальной составляющей силы резания способствуют снижению соответствующих горизонтальных составляющих. Уменьшение выделения тепла при обработке с ОПД предопределяет повышение температурно-деформационной стабильности процесса стружкообразования, а именно уменьшение высокочастотной цикличности.

Снижение нагрева режущего клина, его силового нагружения, ослабление адгезионно-усталостных явлений и пагубного влияния цикличности стружкообразования обуславливает повышение стойкости инструмента как с износостойкими покрытиями, так и без них (до 2,5 раз) при обработке с ОПД по сравнению с традиционным точением. Результаты исследований показали, что применение ОПД позволяет повысить производительность обработки за счет повышения скорости резания при неизменной стойкости лезвий до 1,5 раз. Уменьшение размерного износа способствует улучшению качества изделий.

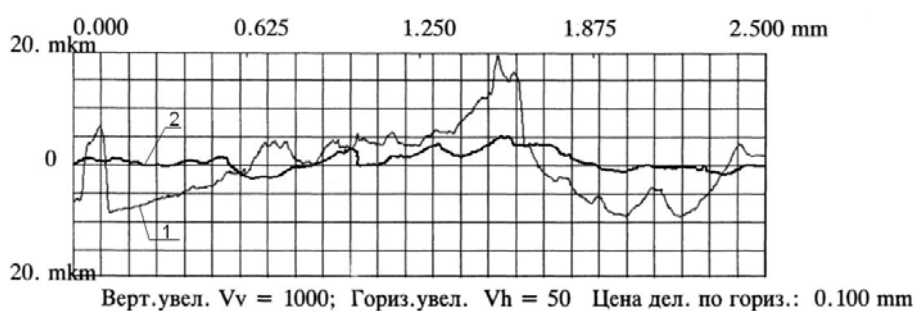


Рис. 2. Профилограмма обработанной поверхности (сталь 12X18H10T-ВК6; скорость резания $v = 120$ м/мин; глубина резания $t = 1$ мм; продольная подача $S_o = 0,128$ мм/об):
1 – традиционное резание; 2 – резание с ОПД ($K_{опд} = 2$)

Благоприятное изменение физических процессов в зоне резания способствует улучшению параметров шероховатости обработанной поверхности (рис. 2) [5]. В частности, происходит снижение значения среднего арифметического отклонения профиля R_a до двух раз по сравнению с обычной обработкой. Выявлены резервы существенного повышения производительности процесса. Одинаковые значения R_a получались при традиционном точении на одних подачах и при резании на больших подачах предварительно продеформированного металла.

Таким образом, использование ОПД является способом повышения эффективности механической обработки резанием деталей, изготавливаемых из труднообрабатываемых коррозионно-стойких сталей. Изменение физических процессов, протекающих в зоне обработки, позволяет снизить температурно-силовую напряженность съема припуска и контактного взаимодействия. Данное обстоятельство способствует повышению работоспособности инструмента, качества получаемых поверхностей, про-

изводительности операций механической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ингеманссон, А. Р. Повышение работоспособности режущего инструмента при точении коррозионно-стойких сталей с опережающим пластическим деформированием / А. Р. Ингеманссон // *Металлообработка*. – 2011. – № 6. – С. 10–15.
2. Подураев, В. Н. Способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием / В. Н. Подураев, В. М. Ярославцев, Н. А. Ярославцева // *Вестник машиностроения*. – 1971. – № 4. – С. 64–65.
3. Приспособление для токарной обработки с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Поляничков, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, С. О. Щедриков // *Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ*. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 39–42.
4. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
5. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки: коллектив. монография / С. К. Амбросимов [и др.]. – М.: Издат. дом «Спектр», 2011. – 328 с.

УДК 621.9.014

Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон, Д. С. Токарев

**К ВОПРОСУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ
КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ
С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Резание с опережающим пластическим деформированием во всех случаях не приводит к увеличению энергетических затрат на обработку, а при определенных условиях имеет место их сокращение.

Ключевые слова: резание, энергетическая эффективность, энергозатраты, опережающее пластическое деформирование (ОПД).

Cutting with advanced plastic deformation in all cases does not lead to an increase in energy costs for processing, and under certain circumstance we have to reduce them.

Keywords: cutting, energy efficiency, energy costs, advancing plastic deformation (APD).

В числе факторов, составляющих себестоимость продукции металлообрабатывающего производства, весьма значительную часть в удельном весе составляют расходы на электроэнергию. При этом наибольшее количество электроэнергии расходуется на осуществление процесса резания металла. Применительно к обработке заготовок на токарных станках наиболее энергоемким является привод главного движения – вращения заготовки. Известно, что потребляемая в процессе резания мощность определяется следующим образом:

$$N = (P \cdot V)/(1020 \cdot 60), \quad (1)$$

где P – сила резания; V – скорость резания.

Скорость резания назначается, исходя из оптимизационных или иных критериев и всегда является величиной, определяющей параметры технологической операции. А сила резания является величиной производной от ряда факторов. Очевидно, что энергосбережение возможно лишь посредством влияния на факторы, определяющие силу резания.

С точки зрения процесса резания металла, сила резания есть показатель удельной работы по отделению стружки от заготовки, то есть по разрушению части металла заготовки. Как отмечено в ряде работ, удельная энергия разрушения металла прямо пропорциональна склонности его к наклепу. То есть, чем более склонен материал упрочняться в результате пластического деформирования, тем большая энергия требуется для осуществления процесса резания, так как любой процесс резания состоит из двух стадий – поверхностного упрочнения до некоторой критической величины внутренней энергии и собственно разрушения металла. При

этом энергозатраты на упрочнение металла могут достигать величин в 2,0–2,5 раза больших, чем затраты на его разрушение. Наиболее остро эта проблема проявляется в случае обработки коррозионно-стойких сталей.

В работе [4] установлено, что значительная часть энергии пластической деформации не задерживается в деформируемом элементе, выделяясь в виде тепла, и лишь незначительная часть задерживается в нем, повышая его внутреннюю энергию. При этом отмечено также, что накопление происходит до некой предельной величины, после чего происходит разрушение металла.

Как отмечено в работе [3], в соответствии с первым началом термодинамики, внешнее воздействие может быть механическим или тепловым. Тело считается разрушенным, если хотя бы в одном его локальном объеме плотность внутренней энергии возросла до критического значения. Удельная потенциальная энергоемкость обрабатываемого материала в объеме, подвергнутом воздействию, определяется как:

$$\Delta w = [u] - u_0 = H_T + L_T, \quad (2)$$

где $[u]$ – предельный (критический) уровень плотности внутренней энергии; u_0 – начальный уровень плотности внутренней энергии; H_T – удельная теплоемкость плавления материала; L_T – скрытая теплота плавления материала.

При этом очевидно, что начальный уровень плотности внутренней энергии u_0 связан с величиной внутренней энергии системы U , что позволяет говорить о прямой связи между энергетическим состоянием системы и процессом разрушения вне зависимости от вида воздействия.

Как отмечено в работе [5], сущность резания с опережающим пластическим деформированием материала срезаемого слоя состоит в совмещении двух процессов – предварительного пластического деформирования и непосредственно процесса резания. При этом к моменту начала воздействия режущего инструмента на материал срезаемого слоя часть работы, затрачиваемой на пластические деформации в процессе стружкообразования при обычном резании, уже предварительно выполняется дополнительным устройством. Таким образом, производится искусственное увеличение начальной плотности энергии u_0 . Поскольку величина критического уровня энергии u остается постоянной, снижается удельная потенциальная энергоёмкость Δw и, соответственно, удельная работа разрушения. В процессе резания с предварительным пластическим деформированием режущим инструментом совершается не вся работа, а только ее часть.

В работе [6] показано, что в результате анализа экспериментальных данных можно сделать следующие заключения: при обработке сталей аустенитного класса с опережающим пластическим деформированием силы резания во всех случаях снижаются на 5–10 %.

Проведенные измерения усилий опережающего пластического деформирования показали,

что они во всех случаях составляют около 5 % от усилий резания неупрочненной стали.

Таким образом, можно сделать заключение, что резание с опережающим пластическим деформированием во всех случаях не приводит к увеличению энергетических затрат на обработку, а при определенных условиях имеет место их сокращение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подураев, В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. – М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
2. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
3. Игнатов, С. Н. Оценка эффективности лезвийной обработки с использованием безразмерного энергетического критерия / С. Н. Игнатов, А. В. Карпов, А. П. Распопин // СТИН, 2004. – № 12. – С. 23–25.
4. Лебедев, В. А. Оценка эффективности упрочнения деталей методами ППД на основе термодинамических представлений процесса / В. А. Лебедев, М. А. Подольский // Вестник машиностроения, 2004. – № 9. – С. 63–67.
5. Улучшение обрабатываемости резанием сталей с различным строением при опережающем пластическом деформировании / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон // СТИН, 2010 – № 10. – С. 28–30.
6. Норченко, П. А. Повышение эффективности процесса резания нержавеющей сталей аустенитного класса с опережающим пластическим деформированием: автореф. дисс. канд. техн. наук / П. А. Норченко. – Волгоград, 2010. – 19 с.

УДК 621.923

Ю. Н. Полянчиков, О. А. Курсин, Д. А. Мартус, М. Ю. Полянчикова, Н. И. Егоров

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

В работе исследованы проблемы, возникающие при хонинговании «мягких» аустенитных и морозостойких сталей. Представлены экспериментальные зависимости влияния твердости материала заготовки на параметр шероховатости Ra поверхности, обработанной хонингованием. Изучена микрогеометрия обработанных хонингованием поверхностей различной твердости.

Ключевые слова: хонингование, пластическое деформирование, качество поверхности, аустенитная сталь, абразивная обработка.

Problems which arise during honing of mild austenitic and cold-resistant steels were examined at the study. Experimental dependences of influence of hardness of a material's preparation on the parameter of roughness Ra of the processed surface by the honing were presented. Microgeometry of the processed surfaces of various hardness by the honing was studied.

Keywords: honing, plastic deformation, quality of a surface, steel of an austenite class, abrasive processing.

К числу прогрессивных методов финишной обработки отверстий относится хонингование. Этот процесс получил широкое применение на производстве вследствие высокой точности. Однако при хонинговании «мягкой» аустенит-

ной стали (нержавеющей стали 12X18H10T) и морозостойкой стали (09Г2С) получается плохое качество поверхности: образуются наплывы вдоль следа обработки (рис. 1) и появляются задиры.

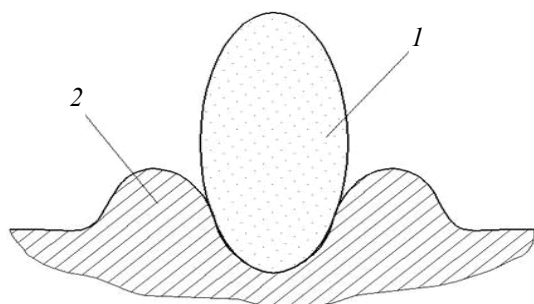


Рис. 1. Образование наплыва металла вдоль следа обработки: 1 – абразивное зерно; 2 – наплывы металла вдоль следа обработки

В современном производстве для обработки гидро- и пневмоцилиндров из подобных материалов часто применяют раскатывание вместо хонингования. Однако раскатывание отверстий дает низкую точность размеров и геометрической формы, так при хонинговании точность достигает 0,01 мм, а при раскатывании погрешности доходят до 0,6 мм, что часто недопустимо для конструкции машины. Кроме того, после раскатывания возможен перенаклеп поверхности, что приводит к образованию микротрещин и разрушению поверхности в процессе работы. Также отсутствует маслосодержащая сетка следов обработки.

Для решения данной проблемы необходимо повышать твердость обрабатываемых поверхностей изделий из указанных материалов. Повышать твердость поверхности аустенитной и морозостойкой стали возможно охлаждением до температуры порядка $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ или опережающим пластическим деформированием поверхности. В результате этого абразивные зерна при хонинговании внедряются на меньшую глубину, что значительно уменьшает глубину следов обработки и величину наплывов металла вдоль следа обработки (рис. 1).

Указанные материалы, согласно исследованиям А. Ф. Трудова [1], склонны к значительному повышению твердости (до 60 %) при пластическом деформировании. После пластического деформирования в стали 12X18H10T возможно даже образование мартенсита [2].

Авторами были проведены исследования влияния силы пластического деформирования на твердость обрабатываемой поверхности стали аустенитного класса 12X18H10T (рис. 2).

Из графика (рис. 2) видно, что с повышением давления деформирующего элемента повышается твердость поверхности. Но при слишком большом давлении возникает перенаклеп поверхности (разрушение), что снижает ее твердость и качество после обработки. Это под-

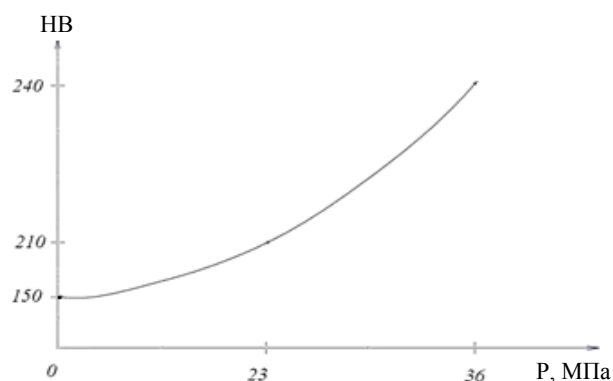


Рис. 2. График зависимости твердости НВ обрабатываемой поверхности от силы опережающего пластического деформирования P

тверждается исследованиями Ю. Н. Полянчикова, Д. В. Крайнева и А. Р. Ингеманссона [3,4,5,6,7].

В ходе исследований авторами также была получена экспериментальная зависимость параметра шероховатости R_a от силы опережающего пластического деформирования при хонинговании (рис. 3).



Рис. 3. График зависимости параметра шероховатости R_a от силы опережающего пластического деформирования P

Из графика видно, что с повышением давления на раскатной элемент значительно снижается параметр шероховатости R_a поверхности после финишной абразивной обработки.

На рис. 4, 5, 6 представлены профилограммы поверхностей, обработанных хонингованием при различном давлении опережающего пластического деформирования. Обработка хонингованием производилась при следующих режимах: $t = 1$ мин – время хонингования; $P_x = 0,4$ МПа – давление разжима брусков при хонинговании; $V_{в-п} = 8$ м/мин – скорость возвратно-поступательного движения хонинго-

вальной головки; $V_{вр} = 50$ м/мин – скорость вращательного движения хонинговальной головки. Длина трассы интегрирования – 4 мм.

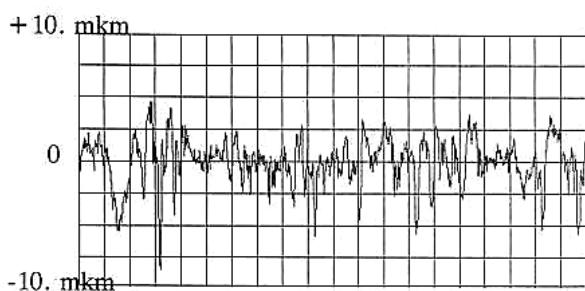


Рис. 4. Микропрофиль поверхности, полученной после обработки хонингованием без опережающего пластического деформирования нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н10Т. (Полученный параметр шероховатости $R_a = 1,3$ мкм)

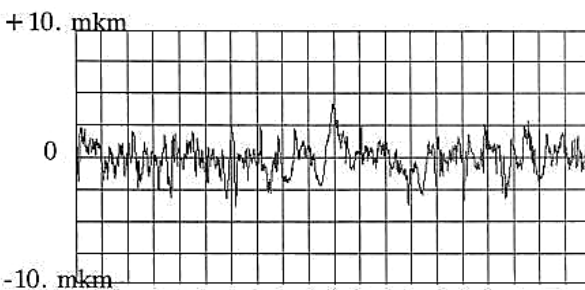


Рис. 5. Микропрофиль поверхности нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н10Т, полученной хонингованием после опережающего пластического деформирования. Давление деформирующего элемента $P_{опд} = 23$ МПа. (Полученный параметр шероховатости $R_a = 0,88$ мкм)

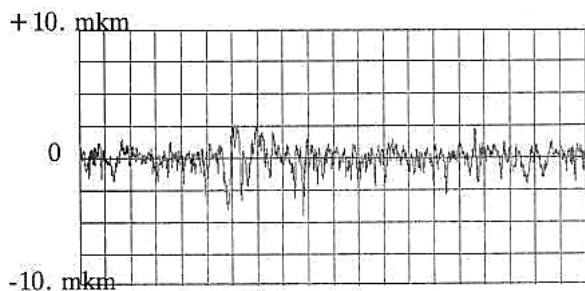


Рис. 6. Микропрофиль поверхности нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н10Т, полученной хонингованием после опережающего пластического деформирования. Давление деформирующего элемента $P_{опд} = 36$ МПа. (Полученный параметр шероховатости $R_a = 0,65$ мкм)

Таким образом, повышение твердости обрабатываемой поверхности опережающим пластическим деформированием перед хонингованием позволяет уменьшить параметр шероховатости R_a до 50 %, повысить насыщенность металла в шероховатом слое и физико-механические характеристики поверхности. Это может значительно увеличить срок службы изделия и его конкурентоспособность.

Кроме того, при финишной абразивной обработке пластически деформированной поверхности снижается интенсивность износа абразивного инструмента до 20 % благодаря уменьшению сил резания из-за меньшей глубины внедрения, что сокращает затраты на изготовление изделий.

Опережающее пластическое деформирование также положительно отражается на качестве обработанной поверхности при Хонинговании с возрастающей скоростью резания [8, 9, 10].

Таким образом, предлагаемое направление модернизации известного способа хонингования позволяет эффективно применять его и на «мягких» труднообрабатываемых сталях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков, Ю. П. Влияние деформации и термообработки на микромеханические свойства сваренного взрывом биметалла Ст3+12Х18Н10Т / Ю. П. Трыков, А. Ф. Трудов, С. В. Клочков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3(29) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении» ; вып. 1). – 147 с.
2. Трудов, А. Ф. Влияние нагревов на структуру и свойства сваренного взрывом биметалла Ст3+12Х18Н10Т / А. Ф. Трудов, Ю. П. Трыков, С. В. Клочков, Д. Ю. Донцов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10(48) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении» ; вып. 2). – 164 с.
3. Полянчиков, Ю. Н. Положительное воздействие опережающего пластического деформирования на формирование шероховатости поверхности, обработанной резанием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон, В. В. Амельченко, А. В. Раздвогин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 6). – С. 41–43.
4. Полянчиков, Ю. Н. Получение оптимальных характеристик поверхностного слоя деталей при резании по методу с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, Г. В. Геронтиди, А. Р. Ингеманссон // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 5). – С. 31–33.
5. Полянчиков, Ю. Н. Улучшение параметров шероховатости при обработке резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон // Вестник СГТУ. – 2010. – № 1. – С. 67–71.
6. Полянчиков, Ю. Н. Эффективность применения безвольфрамового твердого сплава ТН 20 при резании нержавеющей сталей с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон, С. О. Щедриков, А. С. Иночкин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 6). – С. 43–45.

7. Пат. 2399460 РФ. МПК В 23 В 1/00. Способ обработки деталей резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, П. А. Норченко, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, Л. А. Качалова, Л. С. Ангеловская; заявитель и патентообладатель ВолгГТУ. – № 2009111702/02; заявл. 30.03.2009; опублик. 20.09.2010, Бюл. № 26. 6 с.

8. Полянчиков, Ю. Н. Преимущества способа хонингования с возрастающей скоростью резания / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, А. А. Емельяненко, О. А. Курсин, А. И. Курченко // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст.

№ 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 38–39.

9. Полянчиков, Ю. Н. Способ хонингования с возрастающей скоростью резания / Ю. Н. Полянчиков, А. Л. Плотников, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин, А. В. Лешуков // Станки и инструменты. – М.: Машиностроение, 2008. – № 4. – С. 34–36.

10. Пат. РФ № 2305620. МПК В24В 1/00, В24В 33/02. Способ обработки отверстий / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин, А. А. Кожевникова. – Опублик. 10.09.2007 г., Бюл. № 25.

УДК 621.914.22

А. С. Сергеев, А. Л. Плотников, Н. Г. Зайцева

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТОРЦОВЫМИ ФРЕЗАМИ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СТАНОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru, app@vstu.ru

Рассматриваются вопросы управления качеством металлообработки деталей на автоматизированном станочном оборудовании. Приведены экспериментальные данные, характеризующие низкую эффективность существующих методик назначения технологических режимов обработки для обеспечения заданных показателей шероховатости. Описана методика применения сигнала термоЭДС для формирования алгоритмов управления качеством механообработки.

Ключевые слова: торцовые фрезы, термоЭДС, качество поверхности.

The problems of quality control machining on automated machine tools are considered. There is experimental data describing the low efficiency of existing methods use technological regimes of processing parameters for the given roughness. In the article the methodology of thermoelectric power signal to generate algorithms for quality control of machining.

Keywords: facemills, thermoEMF, surface quality.

В производственных условиях для обеспечения требуемой работы автоматизированного станочного оборудования и заданных показателей качества обрабатываемых поверхностей необходима методика расчета и назначения технологических режимов обработки деталей торцовой фрезой на автоматизированном станочном оборудовании исходя из назначаемых качественных показателей. При этом основным критерием пригодности обработанной детали является попадание в заданный класс шероховатости. В настоящее время существует ряд справочно-нормативных источников, позволяющих исходя из заданного класса шероховатости обрабатываемой поверхности назначить технологические режимы ее обработки.

Технологические режимы для чистовой обработки стали 45 и 40Х с обеспечением требуемого 6-го класса шероховатости по пяти справочным источникам, а также измеренные показатели шероховатости поверхности после обработки на назначенных режимах приведены в таблице. Экспериментальные исследования

проводились на фрезерном станке модели 6Н11КП, инструментальный материал Т15К6 – сменная пятигранная пластина по ГОСТ 19065–80. Измерения шероховатости поверхности детали производились профилометром «Абрис – ПМ7». Глубина резания $t = 1$ мм, ширина фрезерования $B = 65$ мм, диаметр фрезы $D = 100$ мм, число зубьев фрезы $z = 8$.

Как видно из полученных экспериментальных данных, расхождение технологических показателей обработки составляет в среднем около 300 %, при этом ряд показателей среднеарифметического отклонения профиля обрабатываемой поверхности R_a , согласно ГОСТ 2789, выходят по значениям за установленной класс шероховатости. В условиях автоматизированного станочного производства такие расхождения не допустимы и могут быть губительны как с точки зрения качественных, так и с точки зрения количественных показателей.

Наряду с табличным способом определения шероховатости существует аналитический метод, позволяющий определять показатели шеро-

Технологические режимы чистовой обработки стали 45 и 40Х при заданном 6-м классе шероховатости поверхности

Справочная нормативная литература под редакцией	Год издания	Скорость резания V , м/мин		Подача на зуб s_z , мм/зуб		Расчетное значение R_a , мкм	Полученное значение R_a , мкм		
		Обрабатываемая сталь							
		45	40Х	45	40Х	45/40Х	45	40Х	
Г. В. Филиппова	1981	160	120	0,052	0,052	1,6	2,1	4,75	
Г. И. Грановского	1974	274	267	0,115	0,052		2,69	2,28	
В. Л. Косовского	1992	316	165	0,025	0,025		1,81	1,73	
С. Ш. Френкеля	1982	251	200	0,069	0,075		3,78	3,45	
А. Н. Оглоблина	1982	374	235	0,063	0,063		3,53	4,77	
Минимальное значение		160	120	0,025	0,025		1,81	1,73	
Максимальное значение		374	267	0,115	0,075		3,78	4,77	
Кратная разница		2,34	2,23	4,6	3		2,09	2,76	

ховатости поверхностного слоя исходя из назначаемых технологических режимов обработки по математическим зависимостям. При этом решается как прямая задача – вычисление параметра шероховатости по заданным технологическим режимам, так и обратная задача – определение необходимых параметров обработки исходя из заданной высоты микрогеометрии поверхности.

В работе А. А. Маталина [1] приводится формула для расчета высоты микронеровности профиля по десяти точкам:

$$R_z = \frac{(z \cdot s_z)^2}{8 \cdot (r + e)}, \quad (1)$$

где z – число зубьев фрезы; s_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб; r – радиус фрезы, мм; e – эксцентриситет (смещение оси симметрии фрезы относительно оси ее вращения), мм.

Данная зависимость не учитывает влияния ряда факторов, в том числе и скорости резания, которая во многом определяет температурно-деформационные закономерности пластического деформирования поверхностного слоя металла.

А. Г. Суслов в источнике [2] приводит формулу расчета среднеарифметического отклонения профиля обрабатываемой поверхности, учитывающую жесткость технологической системы:

$$Ra = 1534 \cdot \frac{s_z^{0,63}}{V^{0,62} \cdot j_{std}^{0,32}}, \quad (2)$$

где V – скорость резания, м/мин; j_{std} – динамическая жесткость станка, кН/м.

Однако, измерение жесткости технологической системы в производственных условиях представляет собой достаточно сложную задачу.

В работах Г. И. Грановского [3] и Н. Н. Зорева [4] описаны зависимости, позволяющие рассчитывать наибольшую высоту профиля обработанной поверхности:

$$R_{max} = 0,5 \cdot (D - \sqrt{D^2 - s_z^2}), \quad (3)$$

где D – диаметр фрезы, мм.

$$R_{max} = \frac{\omega_1^2 \cdot s_z^2}{\omega^2 \cdot 8 \cdot r}, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость фрезы, об/мин; ω_1 – дуга, измеряющая угловое расстояние между смежными зубьями фрезы.

Такие зависимости основаны на исследовании геометрии процесса резания, однако не учитывают характер температурно-деформационных процессов в зоне резания.

Наряду с указанными выше недостатками приведенные зависимости не учитывают свойств инструментального и обрабатываемого материала, несмотря на то, что реальный диапазон колебания только режущих свойств твердосплавного инструмента как внутри партии, так и между партиями спекания одного завода-изготовителя или разных заводов достигает двукратного уровня и более. При этом все партии твердосплавных инструментов укладываются в установленные допуски.

Таким образом, встает вопрос получения оперативной информации о состоянии каждой отдельной контактной пары при механообработке в условиях автоматизированного производства. Использование эффекта появления термоЭДС предоставляет возможность получения такой оперативной информации непосредственно на рабочем месте [5].

В настоящий момент авторским составом ведется работа по разработке математической модели расчета среднеарифметического отклонения профиля поверхности Ra при обработке торцовыми фрезами в зависимости от назначаемых технологических режимов обработки и ряда влияющих факторов, в том числе и диагностического параметра (термоЭДС), учитывающего влияние инструментального и обрабатываемого материала на характер процесса металлообработки.

Сигналы термоЭДС при прерывистом резании для оперативного получения информации о режущих свойствах твердосплавного инструмента измеряются с помощью цифрового осциллографа с высокой частотой дискретизации в паре с персональным компьютером. В режиме предварительного пробного хода в течение 25...30 оборотов инструмента после начала обработки заготовки сигнал термоЭДС, снимаемый с токосъемника скользящего типа, поступает через RC-фильтр на вход цифрового осциллографа. Полученный сигнал проходит аналого-цифровое преобразование и в двоичном коде передается через последовательный порт в персональный компьютер. Минимальная частота дискретизации для регистрации устойчивого сигнала составляет $f = 1$ кГц [6].

Таким образом, при смене контактной пары «инструмент–заготовка» измеряется сигнал термоЭДС, характеризующий физико-механические свойства данной контактной пары, что может быть положено в основу разрабатываемой математической модели торцовой обработки для расчета высоты микрогеометрии обрабатываемой поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маталин, А. А. Технология механической обработки: монография / А. А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1977. – 466 с.
2. Суслов, А. Г. Технология машиностроения: учеб. / А. Г. Суслов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.
3. Грановский, Г. И. Резание металлов: учеб. / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
4. Развитие науки о резании металлов: учеб. / В. Ф. Бобров [и др.]; под. ред. Н. Н. Зорева. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.
5. Автоматический контроль состояния сборного многолезвийного инструмента / А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Е. Г. Крылов, М. Г. Кристаль, В. П. Заярный // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2011. – № 3. – С. 25–28.
6. Патент РФ № 220377. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / А. Л. Плотников, А. А. Василенко // Б. И. № 13, 2003.

УДК 621.91

В. А. Солодков

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vsti.ru

Основной особенностью износа твердосплавных пластин с покрытием при прерывистом резании, как показывают настоящие и ранее выполненные исследования, является унос покрытия с задней поверхности и радиуса округления режущей кромки в начальный период резания.

Ключевые слова: прерывистое резание, твердосплавный инструмент, износостойкое покрытие.

By main feature of wear of hard-alloy slices with cover for want of discontinuous cutting as show present and earlier executed researches is the ablation of cover from a back surface and radius of a rounding off of a cutting edge in initial period of cutting.

Keyword: discontinuous cutting, hard-alloy tools, abrasive-resistant cover.

Как и при установившемся резании, использование твердосплавного инструмента при фрезеровании и других видах прерывистой обработки позволяет существенно повысить скорость резания и стойкость инструмента [1]. Выявленные ранее особенности прерывистого резания (переменность основных характеристик процесса резания, меньшая длина контак-

та, усадки стружки, сил резания и т. д.) [2] характерны и для резания инструментом с покрытием. Влияние покрытия связано, прежде всего, с его низкой теплопроводностью. Поэтому температурный уровень, характерный для резания обычным инструментом, достигается здесь при меньших скоростях резания, в зону которых и смещаются все характеристики процесса ре-

зания [3]. Однако из-за хрупкого разрушения поверхностных микрообъемов, отслаивания покрытия по всей его толщине и т. д., эффект от применения покрытий при прерывистом резании ниже, чем при установившемся. Другой особенностью износа, связанной с покрытием, является интенсивное трещинообразование, приводящее к микросколам, из-за чего значительно возрастает разброс стойкости [4]. В этом смысле большое значение имеют не только режимы резания, физико-механические свойства обрабатываемого материала, твердосплавной матрицы, покрытия, но и способ нанесения покрытия, определяющий работоспособность покрытия и инструмента в целом (для конкретных условий обработки). В настоящих исследованиях применялся инструмент с покрытием, нанесенным методом осаждения из газовой фазы (ГТ). Основное преимущество данного способа в том, что он обеспечивает наиболее прочную связь покрытия и матрицы за счет наличия переходной зоны (η -фаза, W_3Co_3C) [5]. Однако это преимущество для установившегося резания: во-первых, уменьшается градиент свойств между покрытием и матрицей, а во-вторых, обладая более высокой износостойкостью, чем матрица, этот слой увеличивает стойкость после прорыва покрытия. При прерывистом резании переходная зона – недостаток: из-за термочередного характера нагрузки трещины, образующиеся в покрытии, через η -фазу проникают в твердосплавную матрицу и ведут к преждевременным микросколам. Поэтому, повышая

износостойкость, покрытие в то же время снижает прочность твердосплавной матрицы. Для уменьшения этого негативного влияния применялось многослойное покрытие TiC/TiCN/TiN, повышающее изгибную прочность твердосплавной матрицы в сравнении с однослойным (точнее сказать, снижающее прочность матрицы в значительно меньшей степени) [5].

Особенность износа твердого сплава с покрытием при прерывистом резании: унос покрытия с задней поверхности и радиуса округления режущей кромки в начальный период резания. При установившемся резании, напротив, покрытие на контактных поверхностях инструмента сохраняется значительную часть периода стойкости (до 80 %), а рост площадки износа происходит за счет пластической деформации режущего клина [6]. Сравнительные стойкостные испытания (рис. 1) для исходной матрицы и матрицы с покрытием показывают, что несмотря на унос покрытия в начальный период времени, интенсивность износа для покрытого инструмента значительно ниже. Причиной этого явления можно считать замедление износа из-за наличия износостойкого покрытия в конце площадки износа. Такой вывод также подтвержден результатами стойкостных испытаний при установившемся резании пластинами, покрытыми на различных участках. На рис. 2 схематично показаны режущие пластины с покрытием, нанесенным на различные участки.

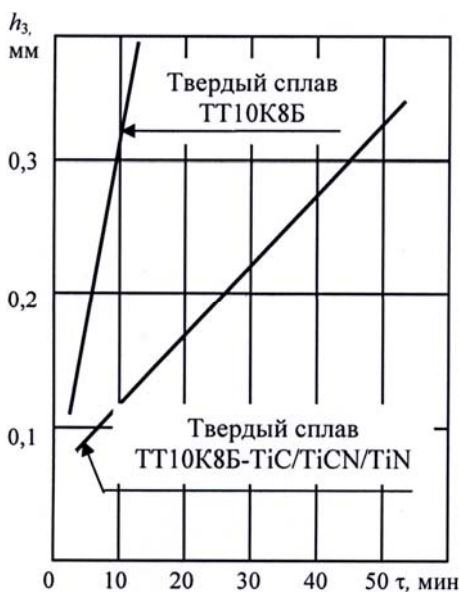


Рис. 1. Зависимость износа по задней поверхности от времени фрезерования стали ХВГ ($S = 0,2$ мм/зуб; $V = 190$ м/мин)

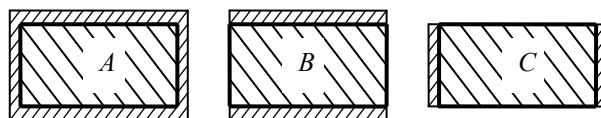


Рис. 2. Схема нанесения покрытия на твердосплавную пластину:

A – полностью покрытая пластина; B – покрытие только на передней поверхности; C – покрытие только на задней поверхности

В соответствии с этой схемой на рис. 3 представлены результаты стойкостных испытаний при установившемся резании [7].

Видно, что износ инструмента, у которого покрытие только на задней поверхности, незначительно отличается от износа полностью покрытого инструмента. В то же время инструмент с покрытием только на передней поверхности изнашивается значительно интенсивней, приближаясь в этом к исходному твердому сплаву.

Для сравнения, подобные исследования были проведены при прерывистом резании. Полученные результаты качественно отличаются от

установившегося резания (рис. 4). Как видно, износ у инструмента с покрытием только на задней и только на передней поверхностях близок между собой и значительно выше, чем у полностью покрытого инструмента. Кроме того, износ инструмента с покрытием только на передней поверхности несколько ниже, чем с покрытием только на задней поверхности. Другими словами, полученные результаты в значительной степени противоположны тому, что имеет место при установившемся резании.

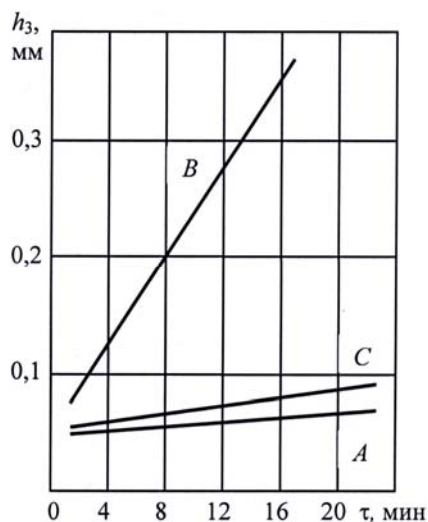


Рис. 3. Влияние места нанесения покрытия на износ при непрерывном резании

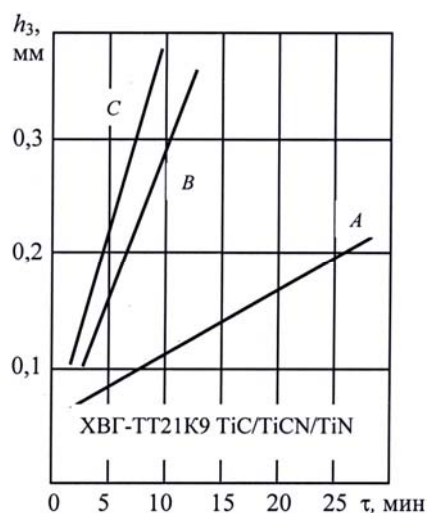


Рис. 4. Влияние места нанесения покрытия на износ при прерывистом резании ($S = 0,2$ мм/зуб; $V = 190$ м/мин)

По мнению автора, объяснение этим отличиям прерывистого и непрерывного резания следует искать в установленной ранее причине повышенного износа задней поверхности при прерывистом резании, а именно: интенсифика-

ции износа микросколами режущей кромки (4, 8, 9). Можно сделать вывод, что наличие покрытия хотя бы только на передней поверхности каким-то образом снижает выкрашивание режущей кромки. Возможных механизмов такого снижения может быть два: во-первых, адгезионное взаимодействие для покрытия значительно слабее, что и обуславливает меньшее адгезионное выкрашивание в момент выхода. Во-вторых, это следствие микропластической деформации материала связки, носящей в большинстве случаев внутрикристаллический характер (при крупных зернах карбида происходит также и межкристаллическое разрушение). Следовательно, чтобы повлиять на выкрашивания режущей кромки, покрытие должно повлиять на степень и характер пластической деформации режущего клина. Поскольку прочность самого покрытия невелика и, находясь на твердом сплаве, оно даже снижает его исходную прочность, объяснение роли покрытия может быть следующим. Находясь на передней поверхности твердого сплава, в месте расположения наиболее мощного источника тепловыделений, покрытие снижает температуру твердого сплава и изменяет температурные поля. Известно, что деформация режущего клина есть термически активируемый процесс [6]. Поэтому, снижая температуру твердого сплава, покрытие снижает интенсивность пластической деформации режущего клина и, как следствие, это ведет к снижению интенсивности выкрашивания режущей кромки. Чтобы подтвердить связь пластической деформации с износом инструмента были проведены кратковременные сравнительные испытания (~4 с) полностью покрытого инструмента и инструмента с покрытием только на передней или только на задней поверхностях. Время резания было выбрано таким, чтобы у инструмента с непокрытой передней поверхностью сохранялись следы заточки. Этим самым учитывалась только пластическая деформация (контролировалась по опусканию режущей кромки) и исключался износ.

Полученные результаты свидетельствуют о следующем. Больше опускание соответствует менее износостойкой пластине, то есть величина пластической деформации коррелируется с результатом стойкостных испытаний (рис. 4) – чем выше пластическая деформация, тем ниже стойкость. Еще более показательными для выявления роли покрытия являются результаты



Рис. 5. Профилограммы передних поверхностей сплава ТТ7К9 с покрытием различной толщины после кратковременного фрезерования стали ХВГ ($S = 0,2$ мм/зуб; $V = 240$ м/мин)

эксперимента с пластинами, имеющими различную толщину покрытия. При сравнении профилограмм передних поверхностей, представленных на рис. 5, хорошо видно, что наибольшую величину пластической деформации имеет исходный твердый сплав ТТ7К9 (данная марка была выбрана из-за своей достаточно высокой пластичности, что позволяет наглядно продемонстрировать имеющееся различие). Промежуточное положение занимает пластина с толщиной покрытия ~ 2 мкм. Минимальная же деформация зафиксирована для пластины с наибольшей толщиной покрытия (~ 7 мкм). Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что покрытие является температурным барьером, причем, чем больше его толщина, тем в большей степени оно снижает температуру в режущем клине.

Характер износа передней поверхности при прерывистом резании инструментом с покрытием также сильно отличается от характера износа этого инструмента при установившемся резании. Это отличие, прежде всего, проявляется в том, что если прорыв покрытия при установившемся резании происходит в результате износа после длительного резания, то для прерывистого резания характерно разрушение покрытия, не связанное непосредственно с его износом. Механизм этого разрушения таков. Оно начинается с растрескивания покрытия в начальный период резания [10]. При этом можно отличить два типа трещин: продольные, расположенные перпендикулярно режущей кромке, и поперечные, расположенные вдоль режущей кромки. Продольные трещины обычно располагаются на некотором удалении от режущей кромки (в районе лунки, в зоне где наблюдается максимум температур), и их образование связано с резкими температурными перепадами во время рабочего и холостого

ходов. Непосредственной причиной образования таких трещин также можно считать разницу коэффициентов теплового расширения матрицы и покрытия и высокий градиент температур по толщине покрытия. Образование трещин, параллельных режущей кромке, вызвано, с одной стороны, пластической деформацией режущего клина, а с другой – высокой хрупкостью покрытия (при опускании режущей кромки покрытие растрескивается и образовавшиеся трещины за счет наличия переходной зоны распространяются из покрытия в матрицу). Действительно, твердые покрытия представляют собой сплошной карбидный (нитридный) каркас и обладают более низкой сопротивляемостью росту трещин, чем основа. Так, если для сплавов ВК6, ВК8, вязкость разрушения K_{Ic} лежит в пределах $7,2 \dots 11,4$ МПа $\cdot\sqrt{м}$, то для покрытия TiC (карбид титана) это величина составляет $\sim 1,85$ МПа $\cdot\sqrt{м}$ [5].

В условиях ударной нагрузки образовавшиеся трещины (главным образом, продольные трещины) становятся причиной скола режущей кромки и связанного с этим большого разброса в стойкости.

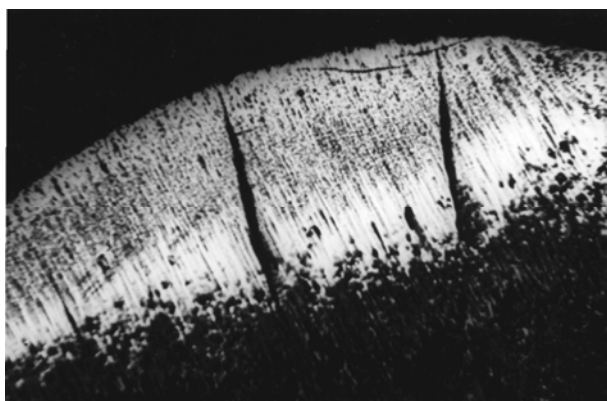
Для установившегося резания принято считать, что стойкость, если брать в качестве критерия износ по передней поверхности, возрастает пропорционально толщине покрытия [5]. В соответствии с теми же данными, для задней поверхности существует оптимальная толщина покрытия (~ 20 мкм), сверх которой снижения интенсивности износа не происходит.

Для прерывистого резания картина в значительной степени отличается и усложняется. Прежде всего это связано с интенсивным трещинообразованием в покрытии и распространением трещин в твердосплавную матрицу. Образование трещин в покрытии возможно и при установившемся резании. Однако, во-первых, трещины имеют меньшие размеры, а во-вторых, они возникают после длительного резания, что связано, очевидно, с тем, что за длительный период резания происходит большое количество входов-выходов с циклами нагрева и охлаждения.

Можно предположить, что при прерывистом резании более толстое покрытие в большей степени подвержено трещинообразованию, так как известно, что с ростом толщины покрытия его хрупкость возрастает, а пластичность снижается. Другими словами, более тонкое покрытие имеет более высокую гибкость (то есть оно выдерживает более высокую степень деформации матри-

цы, прежде чем в нем зародится трещина).

Для подтверждения данных предположений были проведены исследования по определению



а



б

Рис. 6. Вид передней поверхности сплава ТТ21К9 TiC/TiCN/TiN после фрезерования стали ХВГ ($S = 0,2$ мм/зуб; $V = 190$ м/мин; $\tau = 28$ мин.):
а – толщина покрытия 2 мкм; б – толщина покрытия 2 мкм

Стойкостным испытаниям были подвергнуты пластины с многослойным покрытием TiC/TiCN/TiN толщиной 1,5...2 мкм и 5...7 мкм. Во всех случаях в качестве матрицы использовался твердый сплав ТТ21К9, имеющий оптимальное для твердосплавной основы соотношение прочности и твердости.

Анализ микрофотографий передних поверхностей пластин с покрытием, представленных на рис. 6, позволяет однозначно утверждать, что уменьшение толщины покрытия значительно снижает трещинообразование, а следовательно, и вероятность скола режущей кромки. Меньше всего трещин в более тонком покрытии (1,5...2 мкм). Как уже отмечалось, причиной может являться снижение температуры и уменьшение вследствие этого градиента температур в покрытии. Как следствие, снижается величина растягивающих напряжений, вызывающих образование трещин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фрезерование. Машиностроение. Энциклопедия в 40 томах. Том III: Технология изготовления деталей машин. – Машиностроение, 2002.
2. Управление температурно-деформационными характеристиками процесса прерывистого резания / В. А. Солодков // Известия ВолГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолГТУ. – Волгоград, 2005. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 2).
3. Солодков, В. А. Закономерности процесса прерывистого резания стали и пути повышения работоспособности

толщины покрытия, обеспечивающей наибольшую стойкость инструмента при прерывистом резании (рис. 6).

твердосплавного инструмента при фрезеровании: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Солодков. – Куйбышев, 1988. – 16 с.

4. Влияние условий выхода на работоспособность твердосплавного инструмента при прерывистом резании / В. А. Солодков, М. А. Тибиркова // Известия ВолГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 62–65.

5. Верещака, А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

6. Быков, Ю. М. Исследование закономерностей износа твердосплавного инструмента с износостойкими покрытиями с целью повышения его работоспособности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. М. Быков. – Тбилиси, 1984. – 20 с.

7. Хейл, Т. Е. Влияние состава и толщины покрытия на характеристики металлорежущего инструмента: Международная конференция по металлорежущему инструменту, 1980. – 175–191 с. / Т. Е. Хейл, Д. Е. Грехем; пер. с англ. КИ-74640. – М.: ВЦП, 1984.

8. Стружкообразование и контактное взаимодействие при врезании / В. А. Солодков, М. А. Тибиркова // Известия ВолГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 49–53.

9. Особенности стружкообразования и пластического деформирования при прерывистом резании / Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 1 (3). – С. 650–654.

10. Особенности износа передней поверхности твердосплавного инструмента при прерывистом резании / В. А. Солодков // Известия ВолГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 50–53.

УДК 621.91

В. А. Солодков

**ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ТВЕРДОСПЛАВНОЙ МАТРИЦЫ
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vsti.ru

При прерывистом резании наилучшие результаты должны иметь твердые сплавы, имеющие наименьшее выкрашивание режущей кромки – как правило, это означает и минимальную величину общего износа.

Ключевые слова: прерывистое резание, твердосплавная матрица, зернистость твердых сплавов.

Of discontinuous cutting the best outcomes should have rigid alloys have least chipping of the cutting edge - as a rule it means also minimum magnitude of general (common) wear.

Keyword: faltering cutting, hard-alloy matrix, granularity of firm alloys.

Одной из причин повышенного износа твердых сплавов при прерывистом резании является более интенсивное, чем при установившемся резании, выкрашивание режущей кромки. В результате выкрашивания режущей кромки площадка износа по задней поверхности формируется под отрицательным углом [1]. В свою очередь, отрицательный наклон площадки износа по задней поверхности влечет за собой существенный рост температуры в этой зоне. Косвенным свидетельством такого роста температуры служит влияние угла наклона площадки износа на величину характеристической скорости резания (переходной скорости $V_{пз}$ по задней поверхности, рис. 1). В соответствии с принятой терминологией, переходная скорость резания соответствует такому уровню температуры резания (по передней или по задней поверхности), когда происходит смена видов контактного взаимодействия – переход от резания с образованием нароста к резанию с формированием пластического и вязкого контактов [2]. Из рис. 1 хорошо видно, что с увеличением отрицательного наклона площадки износа γ_{ϕ} величина переходной скорости по задней поверхности $V_{пз}$ непрерывно снижается. Снижение переходной скорости означает, что температура, при которой происходит смена видов контактного взаимодействия (от резания с наростообразованием к резанию с пластическим и вязким контактом) достигается при меньшей скорости.

Из сказанного выше можно сделать вывод о том, что при прерывистом резании наилучшие результаты должны иметь твердые сплавы, имеющие наименьшее выкрашивание режущей кромки – как правило, это означает и минимальную величину общего износа. С этой точки зрения, представляет интерес исследование влияния размеров карбидных зерен на прочность режущего лезвия. Во многих работах, по-

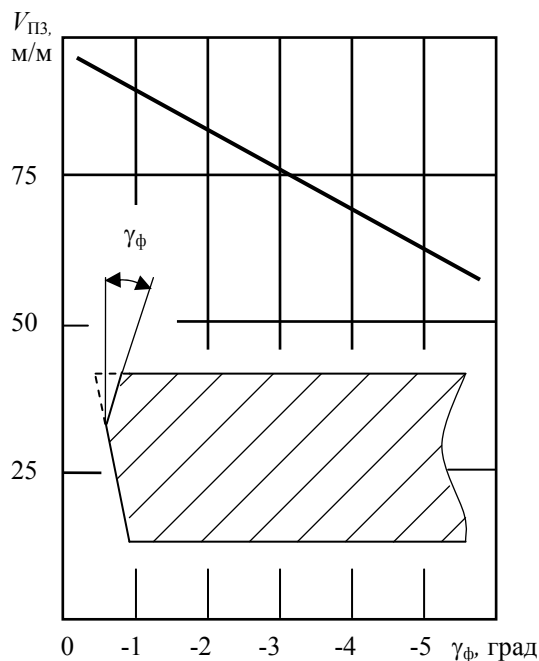


Рис. 1. Влияние угла наклона площадки износа на величину переходной скорости (сталь 45 – ТТ20К9; $S = 0,3$ мм/об; $h_3 = 0,3$ мм)

священных этому вопросу, отмечается связь интенсивности выкрашивания режущей кромки с микропластической деформацией, которая предшествует и является причиной выкрашивания. В свою очередь, степень микропластической деформации так зависит от зернистости твердого сплава, что для повышения режущих свойств и уменьшения вероятности трещинообразования предлагается измельчение смешанной карбидной фазы до размера менее 0,19 мкм и сужение диапазона зернистости [3].

Известно большое количество исследований процессов деформирования твердых сплавов при изгибе и сжатии, выполненных в статических условиях. В результате установлено, что интенсивность деформации от величины зерна зависит сложным образом и в первую очередь

определяется уровнем напряжений и температуры. Так, при температурах свыше 1040...1060 °К, а напряжениях менее 450...490 мПа увеличение зернистости однокарбидного вольфрамокобальтового сплава (сплав с высоким содержанием кобальта – ВК12) ведет к увеличению скорости и степени деформации. С другой стороны, если напряжения превышают указанный уровень, процесс меняется на противоположный – рост зерна карбидной фазы снижает интенсивность деформации. Как известно, в процессе резания, в том числе и прерывистого, выполняемого при обычных режимах обработки сталей, напряжения лежат в пределах 800...1400 мПа. Поэтому при таком уровне напряжений увеличение размера зерен должно интенсифицировать пластическую деформацию. Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о влиянии зернистости на пластическую деформацию, которая, в свою очередь, должна влиять на выкрашивания режущей кромки. Для подтверждения последнего предположения проводились стойкостные испытания сплавов ВК6 различной зернистости при фрезеровании гребенчатой заготовки [1].

Результаты стойкостных испытаний показали значительно более высокую работоспособность сплава ВК6ОМ с минимальным размером зерна (рис. 2). При этом наихудшие результаты показал сплав с максимальным размером зерна – ВК6КС. Такой результат прямо противоположен соотношению износа на передней поверхности. Подобное явление может быть объяснено двумя причинами. Во-первых, при выкрашивании режущей кромки у мелкозернистых сплавов скалываются и уносятся частицы материала инструмента значительно меньших размеров, вследствие чего общий износ также меньше. Во-вторых, большие размеры пластичных кобальтовых прослоек для крупнозернистых сплавов способствуют большей пластической деформации, предшествующей и вызывающей выкрашивания. Здесь также следует отметить, что полученные результаты свидетельствуют о том, что роль диффузионного механизма износа на задней поверхности существенно ниже, чем на передней поверхности [4, 5].

Другой важной характеристикой, кроме зернистости, является содержание растворенного в связке вольфрама [6]. Как и зернистость, это характеристика, связанная с особенностями технологии производства твердых сплавов, оказывает большое влияние на его работоспособ-

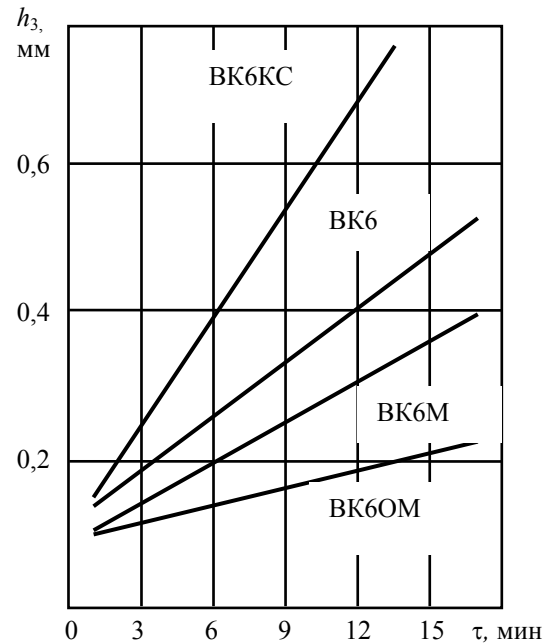


Рис. 2. Влияние зернистости твердого сплава на износ при фрезеровании гребенчатой заготовки (сталь 45; $V = 190$ м/мин; $S = 0,3$ мм/зуб)

ность. Это влияние обусловлено тем, что твердость и прочность кобальтовых растворов зависит от содержания в них вольфрама и углерода. Основной вклад в увеличение твердости кобальтовой фазы в твердых сплавах вносит вольфрам, растворимость которого зависит от содержания в кобальте углерода. Такая зависимость справедлива и для однокарбидных и для двухкарбидных сплавов, поскольку в кобальте, по сравнению с вольфрамом, растворяется ничтожное количество титана и тантала. Можно привести данные, в соответствии с которыми при изменении содержания WC в кобальте (то есть при атомном соотношении W:C=1:1) от 1 до 38 % по массе, твердость кобальтового раствора увеличивается от 230 до 550 Нv. Естественно предположить, что пластичность кобальтовых растворов при этом снижается. Таким образом, состав кобальтовой фазы и ее пластические свойства зависят, в основном, от содержания в сплаве углерода. Например, предельная пластическая деформация при сжатии сплава WC-Co с 8 % Co (по массе) составляет 1,2 % для высокоуглеродистых и 0,75 % для низкоуглеродистых твердых сплавов [7]. В свою очередь, содержание углерода в сплаве (а следовательно, и растворимость вольфрама в кобальте) можно оценивать по величине ЭДС резания, замеренной методом естественной термомпары. При этом большему содержанию угле-

рода в сплаве соответствует большее значение ЭДС. Или, другими словами, чем больше в кобальтовой фазе растворенного вольфрама (чем прочнее кобальтовая фаза), тем меньше значение ЭДС для этого сплава.

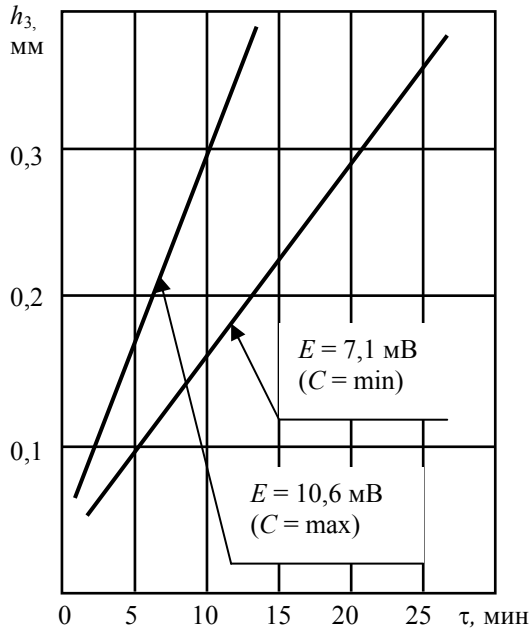


Рис. 3. Зависимость износа по задней поверхности от содержания углерода в твердом сплаве ($S = 0,2$ мм/зуб; $V = 190$ м/мин)

Исследование влияния содержания углерода на работоспособность твердых сплавов при

прерывистом резании производилось на специально спеченных режущих пластинах из сплава ТТ20К9. Чтобы получить различное содержание углерода в сплаве, его количество дозируется в засыпке перед спеканием. Кроме того, дополнительный контроль производился после спекания перед стойкостными испытаниями – для каждой пластины определялось ЭДС резания (на стандартных режимах обработки) чтобы выбрать пластины с максимальным и минимальным содержанием углерода. В итоге для стойкостных испытаний были отобраны режущие пластины с крайними значениями ЭДС – 7,1 мВ и 10,6 мВ. На графике (рис. 3) отражены результаты стойкостных испытаний, из которых следует, что пластины с наибольшей величиной ЭДС и наибольшим содержанием углерода имеют и наибольшую интенсивность износа. Работоспособность же пластин с наименьшей величиной ЭДС и наименьшим содержанием углерода значительно выше. На рис. 4 показаны контактные поверхности твердосплавных пластин, наглядно иллюстрирующие влияние углерода на износ и пластическую деформацию. Хорошо видно, что повышенное содержание углерода ведет к значительному опусканию передней поверхности, что, в свою очередь, при наличии ударной нагрузки приводит к образованию трещин, вызывающих в итоге макроскол режущей кромки. Особенно нега-

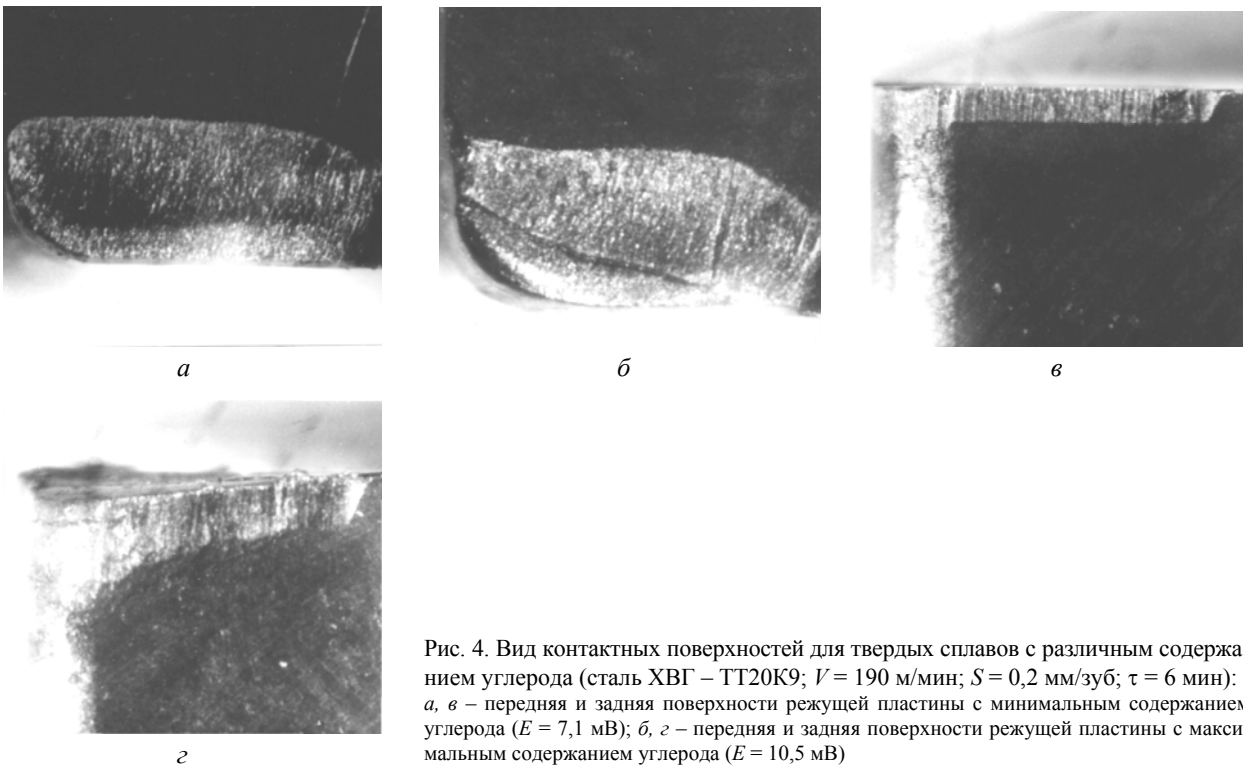


Рис. 4. Вид контактных поверхностей для твердых сплавов с различным содержанием углерода (сталь ХВГ – ТТ20К9; $V = 190$ м/мин; $S = 0,2$ мм/зуб; $\tau = 6$ мин): а, в – передняя и задняя поверхности режущей пластины с минимальным содержанием углерода ($E = 7,1$ мВ); б, г – передняя и задняя поверхности режущей пластины с максимальным содержанием углерода ($E = 10,5$ мВ)

тивное влияние повышенного содержания углерода при прерывистом резании связано с наличием ударной нагрузки, так как даже большая степень пластической деформации при установившемся резании не приводит к образованию трещин.

Профилограммы этих же пластин представлены на рис. 5.

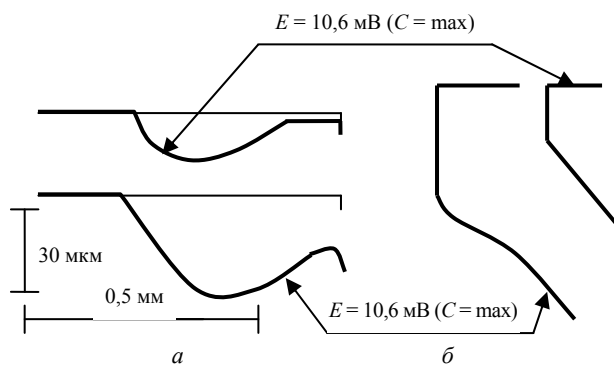


Рис. 5. Профилограммы контактных поверхностей для твердых сплавов с различным содержанием углерода (сталь ХВГ – ТТ20К9; $V = 190$ м/мин; $S = 0,2$ мм/зуб; $\tau = 6$ мин): *a* – профилограммы передних поверхностей; *б* – профилограммы задних поверхностей

Анализ профилограмм позволяет сделать вывод, что сплавы с минимальными содержанием углерода имеют не только меньшую пла-

стическую деформацию, но и более высокую формоустойчивость режущего лезвия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Особенности износа задней поверхности твердосплавного инструмента при прерывистом резании / В. А. Солодков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 50–53.
2. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
3. Куклин, Л. Г. Повышение прочности и износостойкости твердосплавного инструмента / Л. Г. Куклин, В. И. Сагалов, В. Б. Серебровский, С. П. Шабашов. – М.: Машиностроение, 1968. – 140 с.
4. Диффузионные процессы при прерывистом резании / В. А. Солодков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 1).
5. Солодков, В. А. Влияние диффузионных процессов на работоспособность твердосплавного инструмента при прерывистом резании / В. А. Солодков // СТИН. – 2006. – № 6. – С. 13–15.
6. Быков, Ю. М. Исследование закономерностей износа твердосплавного инструмента с износостойкими покрытиями с целью повышения его работоспособности: автореф. дис. канд. техн. наук / Ю. М. Быков. – Тбилиси, 1984. – 20 с.
7. Третьяков, В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В. И. Третьяков. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.

УДК 681.586

Н. Г. Степанова, В. К. Голованов

РАЗРАБОТКА БЕСКОРПУСНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ УСИЛИЙ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: ngig@vstu.ru

Предложена конструкция датчика силы, обладающая высокой герметичностью и долговечностью. Определены основные геометрические параметры упругого элемента для различных номинальных усилий. При этом максимальные напряжения приблизительно в три раза меньше предела текучести, что позволяет их использовать в новых технологиях.

Ключевые слова: измерение усилий в агрессивных средах, бескорпусной датчик.

The design of the sensor of force possessing high tightness and durability is offered. The key geometrical parameters of an elastic element for various nominal efforts are defined. Thus the maximum tension approximately three times there is less than fluidity limit that allows to use them in new technologies.

Keywords: measurement of efforts in hostile environment, without case the sensor.

Новые технологии предполагают использование датчиков силы в агрессивных средах. Например, на большинстве метизных, трубопрокатных, металлургических, сталепрокатных заводах есть травильные участки, отвечающие за удаление окалины с поверхности металла, что воздействует на оборудование, изготовлен-

ное из углеродистых и низколегированных сталей, это воздействие снижает долговечность оборудования. Высокая влажность, наличие паров, содержащих агрессивные вещества, и изменение температуры агрессивных сред разрушает резиновые уплотнения корпусных деталей датчиков силы, что приводит к отказу по мет-

рологическим характеристикам. Предлагаемый датчик силы не содержит резиновых уплотнений и поэтому способен эксплуатироваться в тяжелых промышленных условиях [4, 5].

Предлагается конструкция упругого элемента, представленная на рис. 1, состоящая из кольцевой пластины 3, цилиндрической силопередающей оболочки 2 и вогнутой силовоспринимающей оболочки 1, причем толщина оболочки меньше, чем величина вогнутости. Внутри кольцевой пластины запрессовано тонкое цилиндрическое кольцо 4, которое имеет продольные пазы, равномерно расположенные по окружности, передающие деформации от внешней поверхности пластины на периферийную часть кольца с намотанной по внешней поверхности тензорезисторной проволокой 5 и 6. Так как тензорезисторы находятся во внутренней полости упругого элемента, то не будем использовать корпусные детали, так как защитные функции в этом случае выполняют кольцевая пластина 3 и оболочки 1, 2. Дополнительно предусмотрена защита упругого элемента от внешних неблагоприятных факторов в виде защитных крышек 7 и 8, которые могут быть соединены с корпусом с помощью сварного шва.

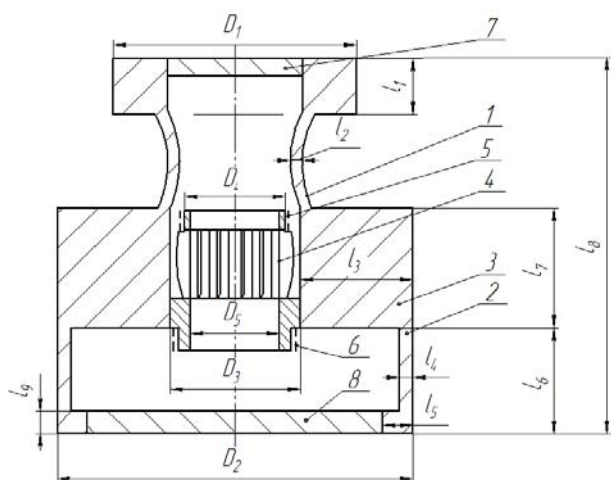


Рис. 1. Осевое сечение датчика силы

Принцип работы датчика силы следующий: нагрузка, приложенная к вогнутой оболочке 1 и воспринимающей цилиндрической оболочке 2, поворачивает кольцевую пластину 3 и воздействует на кольцо 4, передавая деформацию тензорезисторами 5 и 6, электрический сигнал которых воспринимается вторичной аппаратурой, которая, в свою очередь, с помощью средств вывода информации показывает результат измерения.

Определять геометрические и прочностные характеристики будем с помощью программного комплекса SolidWorks, который в современной инженерной практике при проектировании новых образцов техники или особо ответственных деталей широко используется и отлично зарекомендовал себя более чем на 40 тыс. промышленных предприятиях по всему миру [2]. При этом для решения сложных задач возникает необходимость применения профессиональных расчетных комплексов. COSMOSWorks является одним из лучших решений в области прочностных расчетов, реализованных в программном комплексе SolidWorks. Так как работа осуществляется в едином информационном пространстве с SolidWorks, исключается необходимость использовать какие-либо трансляторы для экспорта геометрии. Это обеспечивает отсутствие ошибок в геометрии, и, как следствие, – в конечно-элементной модели. Изменение геометрической модели автоматически отслеживаются в COSMOSWorks (рис. 2, а) [2].

Построение аналитических решений для данной конструкции крайне проблематично в силу сложной геометрии упругого элемента.

Рекомендуется все элементы датчика изготавливать из легированных сталей 45ХНМФА ГОСТ 4543–71.

Принципиальной особенностью конечно-элементной модели является использование параболических конечных элементов (элементов второго порядка точности). Они наиболее точно (по сравнению с линейными элементами) аппроксимируют геометрию датчика.

Конечно-элементная модель датчика силы выполнена в виде сетки на твердом теле с используемым разбиением на основе кривизны. Шаг сетки конечных элементов и их форма определяют точность вычислений. Для сложной формы влияние кривизны конечных элементов определяет алгоритм нестандартных вычислений [3]. Так как упругий элемент является телом вращения, то применяем рекомендации программного комплекса [2]. Максимальный размер элемента 4,97951 мм и минимальный размер элемента 0,995902 мм. Такое качество сетки считается высоким.

Расчет упругого элемента осуществляется для номинальных усилий 5кН, 10 кН, 20 кН, 32 кН, 50 кН. Результаты расчетов приведены в таблице. Будем считать, что внешняя нагрузка равномерно приложена к верхнему кольцу, а основание жестко закреплено.

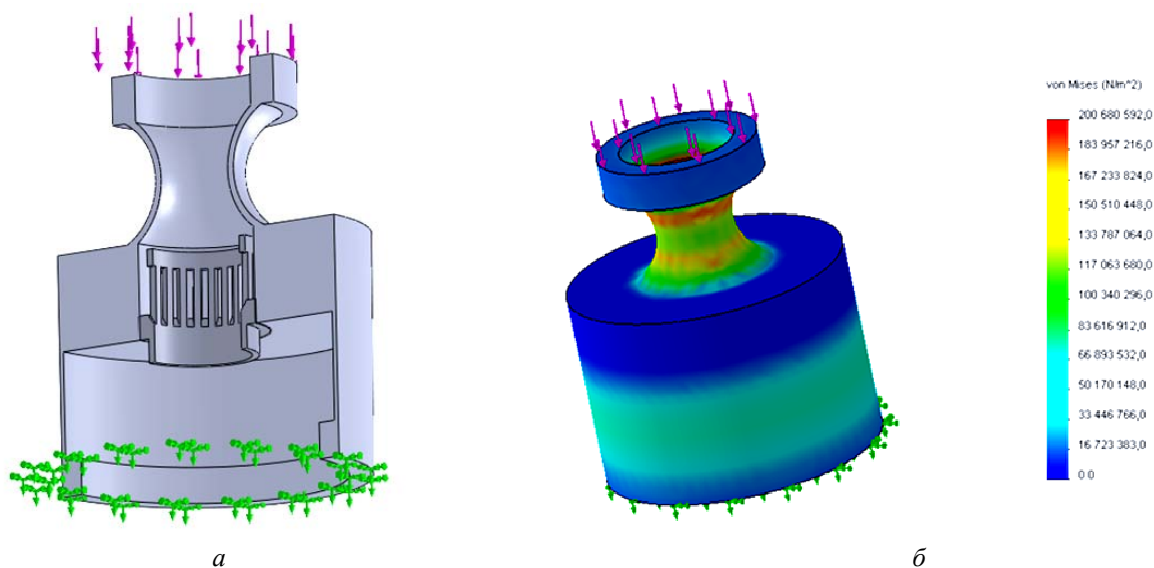


Рис. 2. Построение геометрической модели в программном комплексе SolidWorksSimulation 2009 x64 SP4.0:
 а – твердотельная модель датчика силы в разрезе с изображением посадки запрессованного кольца;
 б – эквивалентные напряжения всей конструкции

В качестве примера эпюра эквивалентных напряжений в упругом элементе безкорпусного датчика силы представлена на рис. 2, б для номинального усилия $P = 50$ кН, там же показано его направление.

Светлая часть упругого элемента соответствует уровню напряжений целом от 50 МПа до 150 МПа. Максимальные напряжения наблюдаются в средней части вогнутой оболочки и равны 200 МПа, что в 3 раза меньше предела текучести. Таким образом, благодаря изменению формы упругого элемента величина опасных напряжений смещена из зоны концентратора напряжений. Следовательно, запас прочности датчика силы является гарантированным.

Коэффициент чувствительности упругого элемента силоизмерителя рассчитывается по формуле [1]:

$$\varphi = ((\varepsilon_5 - \varepsilon_6) / 2) \cdot 2 \cdot 10^3 = 10^3 (\varepsilon_6 - \varepsilon_5), \quad (1)$$

где ε_k при $k = 5, 6$ – деформация под тензорезисторами.

Рассмотрим схему расчета деформации тензорезистора. Разместим систему координат расчетной модели в упругом элементе датчика силы. Плоскость XOY совместим с нейтральной плоскостью (рис. 3), а ось Z совместим с осью упругого элемента, а направление выберем противоположное направлению измеряемого усилия (номинального усилия). Так как упругий элемент подвержен осесимметричной нагрузке, то U_x – смещение в направлении оси X совпадает с радиальным смещением. Будем

считать, что внутренний кольцевой элемент под воздействием кольца 3 (рис. 1) поворачивается. Тогда на тензорезисторы будут передаваться перемещения согласно рис. 3.

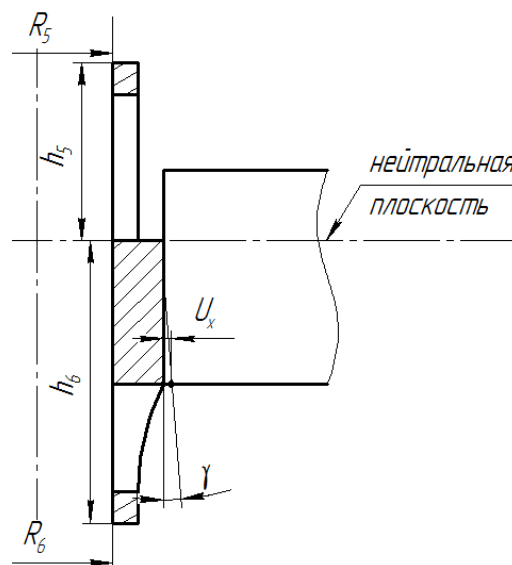


Рис. 3. Схема расчета деформаций тензорезистора

В силу незначительной величины U_x примем $\gamma = U_x$, тогда

$$\varepsilon_6 = \frac{\gamma \cdot h_6}{R_6} = 0,0054 \quad \text{и} \quad \varepsilon_5 = -\frac{\gamma \cdot h_5}{R_5} = 0,0034,$$

и, подставляя эти значения в формулу (1), получаем коэффициент чувствительности $\varphi = 2$. Значение коэффициентов чувствительности силоизмерителя задается по ГОСТ 28836–90: $\varphi = 2$.

Геометрические размеры упругих элементов силоизмерителей

P, кН	Обозначения по рис. 1							
	D ₁	D ₂	l ₂	l ₄	l ₆	l ₇	l ₈	l ₉
50	84,7	144,39	3,00	5,00	60,72	39,85	170,68	15,2
100	103,81	165,52	5,00	7,00	83,27	60,31	194,73	22,58
200	121,76	183,27	6,00	7,50	102,36	79,58	215,89	31,16
3200	149,38	200,93	7,00	8,00	126,29	104,6	236,71	39,2
5000	168,47	218,61	8,00	8,50	147,82	125,43	257,18	43,51

При расчете были приняты следующие геометрические размеры: D₃ = 60,8 мм; D₄ = 51,00 мм; D₅ = 56,50 мм; l₁ = 20,50 мм; l₃ = 42,4 мм; l₅ = 10,8 мм для всех номинальных усилий, приведенных в таблице, остальные размеры варьируются.

Анализ полученных результатов показывает, что максимальное напряжение для всех конструкций возникает в вогнутых силопередающих оболочках и не превышает 250 МПа. По всей поверхности конструкции напряжения распределяются неравномерно, локально возрастая до незначительного уровня, и величина максимальных напряжений меньше предела текучести приблизительно в три раза, что говорит о большом запасе прочности предложенных датчиков силы.

Отметим также, что наличие крышек 7 и 8 позволяет надежно осуществить герметизацию внутренней полости. Эти крышки расположены в жестких частях упругого элемента и не воспринимают измеряемую нагрузку. Поэтому предложенная конструкция может использоваться в агрессивных средах.

Кроме того, из расчетов следует, что чувствительный элемент с предложенными геометрическими размерами может быть запрессован в упругие элементы, рассчитанные на различные номинальные усилия. Таким образом, предложенная конструкция обладает качеством унификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голованов, В. К. Рациональные конструкции упругих элементов для модернизации весовых устройств / В. К. Голованов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2004. – № 2. – Вып. 1. – С. 17–19.
2. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в Solid-Works / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс 2010. – 464 с.
3. Николаев, А. П. Примеры расчета стержневых систем аналитическими методами и на основе МКЭ / А. П. Николаев, Ю. В. Ключков, А. П. Киселев; Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2005. – 100 с.
4. Седышев, В. В. Информационные технологии в металлургии: конспект лекций / В. В. Седышев. – Изд-во ЮУрГУ, 2005.
5. Летавет, А. А. Износ и защита конструкций промышленных зданий с агрессивной средой производства : сб. ст. / А. А. Летавет, Б. С. Истомин. – М., 1966.

УДК 621.9

А. Г. Схиртладзе

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ВАЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: ags@stankin.ru

Рассмотрены различные способы повышения прочности валов и осей при их ремонте. Даны рекомендации по снижению влияния источников концентрации напряжений на прочность валов.

Ключевые слова: валы, оси, напряжения, прочность.

Considered some methods of improving the strength of shafts and axles at their repair. Recommendations to reduce the impact of sources of stress concentration on the strength of the shaft.

Keywords: shafting, axis, strenuous, tension, strength.

Валы машин и механизмов различного служебного назначения несут на себе сопряженные детали механизмов и поэтому в зависимости от

конструкции работают в основном на совместное действие изгиба и кручения или значительно реже только на кручение.

В отличие от валов, оси не передают крутящего момента, но также несут на себе те или иные детали и работают только на изгиб.

В процессе эксплуатации основные и вспомогательные поверхности валов и осей изнашиваются и требуют ремонта [1]. При выполнении ремонтных работ необходимо уделять внимание вопросам обеспечения прочности этих деталей в связи с конструктивными и технологическими факторами. Особенно следует учитывать наличие источников концентрации напряжений в деталях данного типа.

Так, галтели ступенчатых переходов между цилиндрическими поверхностями вала различного диаметрального размера D и d (рис. 1) являются источником значительной концентрации напряжений, особенно при малых радиусах закругления r и больших заплечиках.

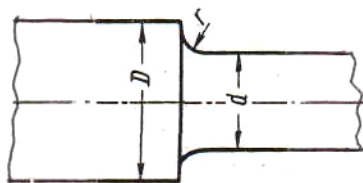


Рис. 1. Галтель на валу (оси)

При ремонте валов галтели следует выполнять исходя из возможности максимального увеличения радиуса r (рис. 1), так как коэффициент концентрации напряжений зависит от соотношения радиуса галтели r к диаметральному размеру вала (оси) d . Применение отношений $(r/d) < 0,1$ приводит к резкому увеличению неравномерности распределения напряжений и коэффициентов концентрации напряжений при изгибе (k_σ) и кручении (k_τ), доходящих по значению до двух и выше [2].

При плавном переходе между ступенями вала концентрация напряжений практически устраняется полностью (рис. 2). Размерные данные галтели (рис. 2), при которых концентрация напряжений устраняется, приведены в таблице.

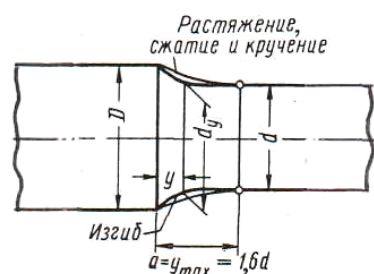


Рис. 2. Конструкция галтели без источника концентрации напряжений

Данные для конструирования галтели

y/d		0,0	0,005	0,01	0,04	0,10	0,20	0,50	1,00	1,60
d_1/d	Растяжение-сжатие или кручение	1,636	1,594	1,572	1,483	1,374	1,260	1,096	1,019	1,0
	Изгиб	1,475	1,377	1,336	1,230	1,145	1,082	1,026	1,010	1,0

Для сокращения длины переходного участка между ступенями вала используют эллиптическую галтель, то есть переход с плавным уменьшением радиуса кривизны p (рис. 3). Для построения эллиптической галтели по заданным параметрам – диаметральным размерам d

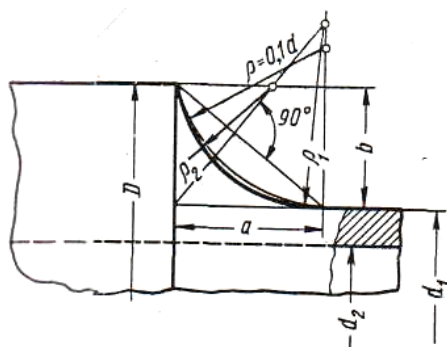


Рис. 3. Схема конструкции круговой и эллиптической галтели

и D (сплошной вал) и d_1 , d_2 и D (полый вал) следует определить полуоси эллипса – большую a и малую b . Для сплошного вала отношение (a/b) принимается от 1,0 до 2,5; для полого вала рекомендуется $(a/b) = 1 - 2,5[a/(d_1 - d_2)]$.

Эллиптическую галтель можно заменить галтелью, которая описывается двумя (и даже тремя) радиусами. При этом часть галтели, которая примыкает к меньшему сечению, описана радиусом большего размера. На рис. 3 для сравнения с эллиптической галтелью показана галтель, описанная радиусами p_1 и p_2 . При этом галтель радиусом $p_1 > p_2$ близка к эллиптической галтели радиусом $p = 0,1d$.

Во многих случаях из-за конструктивных причин невозможно увеличивать радиус галтели. В этих случаях для уменьшения концентрации напряжений можно использовать различные конструктивные мероприятия. На рис. 4

показан вал, у которого радиус галтели увеличен за счет кольца А. Если такое кольцо отсутствует, то пришлось бы выполнить вал с меньшим радиусом галтели, что привело бы к росту концентрации напряжений.

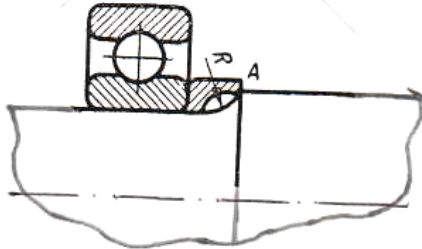


Рис. 4. Увеличение радиуса галтели посредством установки промежуточного кольца А

На рис. 5 дан способ уменьшения концентрации напряжений за счет выполнения закругления радиусом R , который входит в уступ вала (поднутрение). Поднутрение может быть выполнено также с некоторым углублением галтели в тело вала, что дает возможность еще больше увеличить радиус R и уменьшить концентрацию напряжений. Однако значительное увеличение радиуса R может привести к ослаблению прочности вала, а шлифование такой галтели затруднено.

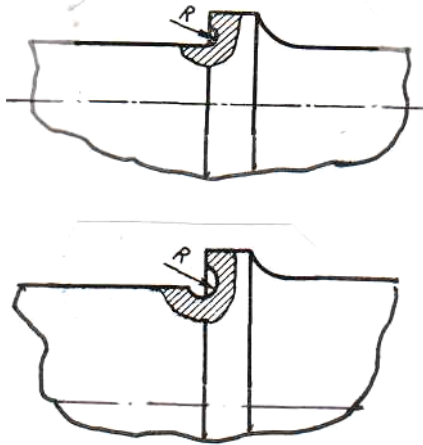


Рис. 5. Поднутрение галтели: в уступ вала и в уступ вала и в вал

Улучшить распределение напряжений можно также путем выполнения дополнительных разгружающих выточек (рис. 6). На рис. 7 показан график изменения максимальных напряжений у дна основной и разгружающей выточек, в зависимости от глубины последней. Напряжения σ_1 и σ_2 на графике отнесены к напряжениям σ_0 на дне основной выточки при отсутствии разгружающей. При отношении глубин ос-

новной и разгружающей выточек, равном 0,9, напряжения около них уравниваются и напряжения у основной выточки снижаются на 20 % [2]. Поэтому рационально в валах и осях с галтелями выполнять разгружающие канавки (рис. 7). Жесткость вала в данном случае (в части большего сечения) уменьшается незначительно, но происходит выравнивание напряжений.

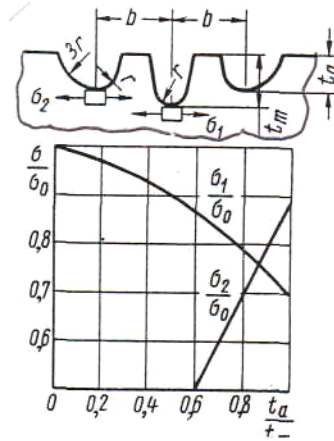


Рис. 6. Снижение концентрации напряжений на дне основной выточки (t_m) применением разгружающих выточек (t_a)-(b/t_m)=1,5

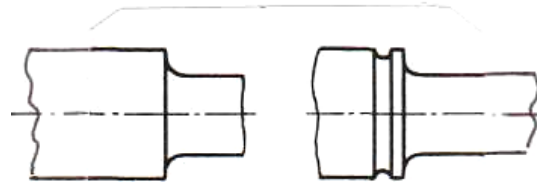


Рис. 7. Разгружающая канавка у вала с галтелью

На рис. 8 показана обычная конструкция вала с установленным подшипником и улучшенная конструкция, где использована галтель с поднутрением и разгружающая канавка.

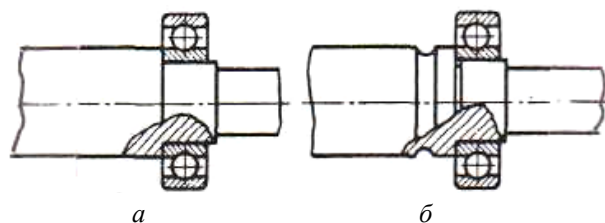


Рис. 8. Посадка шарикоподшипника на вал: а – обычная, б – улучшенная

Передача крутящего момента или осевых сил, или того и другого в соединениях валов с установленными на них деталями осуществляется различными способами. Наиболее распространены зубчатые и шпоночные соединения. При средней напряженности валов по кру-

чению и невысокой точности центрирования используются шпоночные соединения. Коэффициенты концентрации напряжений при изгибе $k_\sigma = 1,5-2,0$ и кручении $k_\tau = 1,5-1,9$.

Для снижения коэффициента концентрации напряжений целесообразно выполнять шпоночные канавки дисковой фрезой вместо пальцевой (рис. 9).

Зубчатые (шлицевые) соединения используются при высоких напряжениях кручения в вале, когда шпоночное соединение становится неприемлемым из-за высоких напряжений смятия. Коэффициенты концентрации напряжения для шлицевых валов при кручении составляют для прямоугольных шлицев $k_\tau = 1,9$, а для шлицев с эвольвентным профилем $k_\tau = 1,2-1,3$.

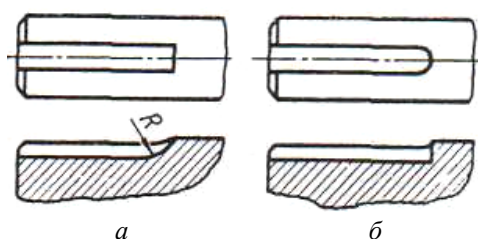


Рис. 9. Шпоночные канавки:
а – продольного фрезерования (дисковой фрезой);
б – фрезерования торцевой (пальцевой фрезой)

Для повышения усталостной прочности вала, имеющего шлицы прямоугольного профиля, также как и у шпоночного паза, необходимо увеличивать радиус закругления у основания.

Во всех случаях для повышения усталостной прочности нужно отдавать предпочтение шлицам с эвольвентным профилем, у которых усталостная прочность выше в два раза, чем у шлицев с прямоугольным профилем.



Рис. 10. Вал с поперечным отверстием

Источником значительной концентрации напряжений (рис. 10) являются поперечные отверстия в валах [3]. Значения коэффициентов концентрации напряжений при изгибе вала из обычных конструкционных сталей с попереч-

ным отверстием $k_\sigma = 1,5-2,5$, а при кручении $k_\tau = 1,5-2,0$.

Отношение диаметров d отверстий к диаметру D вала (рис. 10) значительно сказывается на величинах коэффициентов k_σ и k_τ при значениях $(d/D) = 0,25-0,3$.

Смазочные отверстия в валах обуславливают значительную концентрацию напряжений и являются местом начала возникновения усталостной трещины. Поэтому желательным является упрочнение поперечных отверстий. Упрочнение может выполняться различными способами (рис. 11): раззенковкой отверстия с наружной стороны (рис. 11, а); снятием лыски в месте выхода масляного отверстия (рис. 11, б); обжатием отверстия шариком (рис. 11, в); запрессовкой в отверстие втулок с меньшим модулем упругости, чем материал вала (рис. 11, г); выполнением разгружающих канавок около масляного отверстия (рис. 11, д).

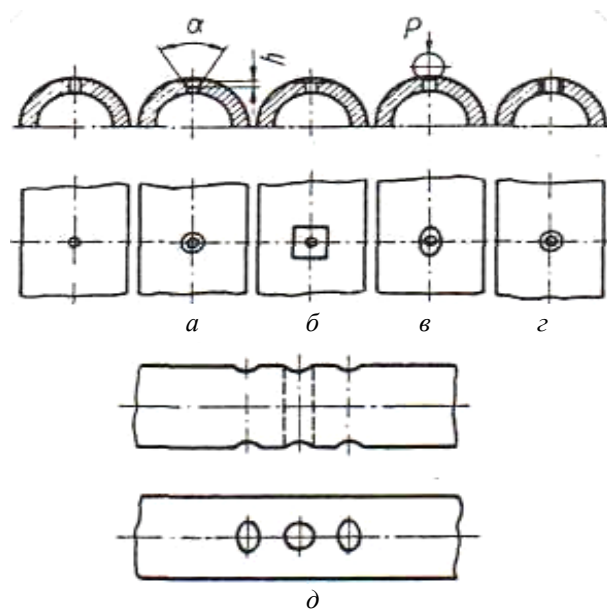


Рис. 11. Конструктивное упрочнение вала с поперечным отверстием:
а – раззенковка отверстия; б – снятие лыски; в – обжатие отверстия шариком; г – запрессовка втулки; д – выполнение разгружающих канавок

Наиболее эффективным способом является изготовление разгружающих канавок путем вдавливания в поверхность штампея (пуансона) шириной, равной диаметральному размеру отверстия на глубину около $0,3d$. Края разгружающей канавки не должны доходить до края отверстия. При таком исполнении коэффициент концентрации значительно снижается. Удаление материала около поперечного отверстия также уменьшает этот коэффициент (рис. 12) [2].

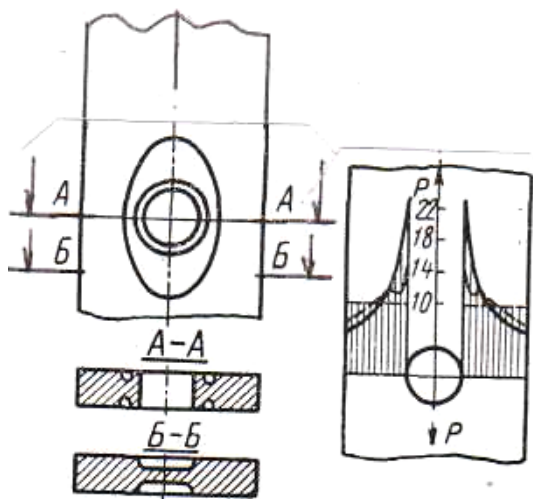


Рис. 12. Снижение концентрации напряжений у поперечного отверстия путем удаления ненагруженной части материала

При запрессовке в поперечное отверстие втулки, имеющей меньший модуль упругости, чем материал вала, по краям последнего создаются остаточные сжимающие напряжения (рис. 13). При этом максимум растягивающих напряжений и коэффициент концентрации при кручении уменьшаются на 25–30 %.

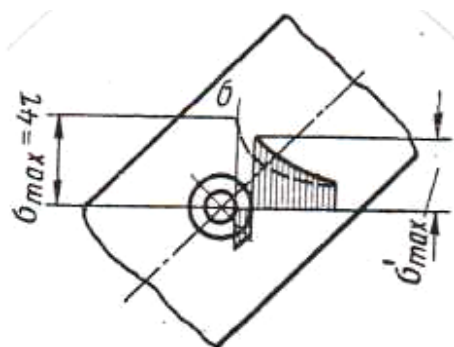


Рис. 13. Эффект запрессовки втулки в поперечное отверстие

Напрессованные на вал различные детали – подшипники качения, шестерни, ступицы, втулки – могут вызывать значительное снижение предела усталости, что обусловлено концентрацией напряжений в месте контакта кромки смонтированной детали, а также эффектом поверхностной коррозии трения, возникающим при упругих смещениях вала относительно детали при их совместной деформации. Совместное действие двух указанных факторов при увеличении абсолютных размеров деталей сказывается более сильно, чем при действии других источников концентрации напряжений. При обычных конструктивных соотношениях деталей влияние галтели, которая расположена в области угла контакта смонтированной дета-

ли, дает меньшее значение коэффициента концентрации напряжений. Поэтому при расчетах на выносливость следует учитывать больший коэффициент концентрации напряжений от смонтированной детали в том же сечении. При посадке колец подшипников это имеет место при соблюдении рекомендуемых конструктивных параметров заплечиков и галтелей [2]. Особенности источников возникновения концентрации напряжений смонтированных на вал деталей обуславливают и специальные меры конструктивного упрочнения. Последнее реализуется следующими способами: выполнением разгружающих выточек в напрессованных деталях, а также таких выточек в валах и осях у края монтируемой детали. Эффективные результаты дают разгружающие выточки у вала (рис. 14), выполненные накаткой или выдавливанием, так как при этом происходит поверхностное упрочнение. Указанные выточки (рис. 15) увеличивают усталостную прочность по сравнению с ранее применявшимися конструкциями более чем на 40 %.

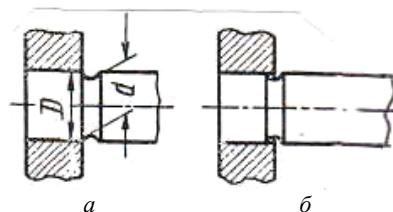


Рис. 14. Накатанные разгружающие выточки: а и б – разные конструкции $D = (1,06-1,08)d$

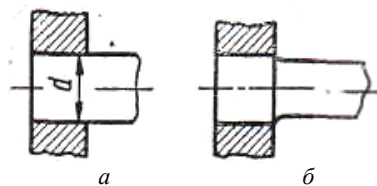


Рис. 15. Прессовые соединения: а и б – разные конструкции

Использование указанных мероприятий по повышению прочности валов повышает качество ремонта и ресурс восстановленных деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Схиртладзе, А. Г. Технология восстановления гладких и шлицевых валов / А. Г. Схиртладзе // Ремонт, восстановление, модернизация. – № 5. – 2002.
2. Серенсен, С. В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович. – М.: Машгиз, 1963.
3. Бахарев, В. П. Проектирование и конструирование в машиностроении / В. П. Бахарев, А. П. Дубинин, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ОАО «ТНТ» 2009.

УДК 621.9

*А. Г. Схиртладзе, С. Ю. Быков, С. А. Схиртладзе***ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПЛАШЕК И МЕТЧИКОВ****Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»**E-mail: ags@stankin.ru

В статье рассмотрены различные мероприятия по многократному восстановлению отработавших метчиков и плашек. Приведены различные технологии восстановления, а также переделки этих инструментов на новые виды.

Ключевые слова: метчик, плашка, износ, восстановление.

In article consider some action about re-recovering used tap borders and thread chasers. Described different recovering technology and adaptation these tools to new kind.

Keywords: tap borer, thread chaser, deterioration, recovery.

В основном и ремонтном машиностроительном производстве эксплуатируется огромное количество метчиков и плашек, которые используются для выполнения широкого круга различных работ. При эксплуатации эти инструменты изнашиваются и в результате действия различных факторов получают повреждения [1]. Восстановление указанных инструментов позволяет значительно сократить производственные затраты.

Метчики, как показывает практика их эксплуатации, имеют следующие виды износа и повреждений: потеря рабочего размера; выкрашивание или повреждение отдельных витков; скручивание или поломка квадрата; повреждение витков заборного конуса; предельный износ пера по ширине; излом хвостовой части.

У круглых плашек (лерки) и у плашек с головками встречаются следующие виды износа и повреждений: потеря рабочего размера; выкрашивание или повреждение зубьев [2].

Для восстановления метчиков применяют следующие способы: при потере рабочего размера – хромирование, поднимание зубьев, термическая обработка, шлифование или переточка на меньший размер; при выкрашивании или повреждении отдельных витков – шлифование или переточка на меньший размер; при скручивании или поломке квадрата – шлифование нового квадрата, приварка новой заготовки квадрата; при повреждении витков заборного конуса – отрезка его и шлифование нового заборного конуса по калибрующей части (укорочение рабочей части метчика); при достижении предельного износа – переделка метчика на зенкер, зенковку или концевую фрезу [3].

Для восстановления круглых плашек используют следующие способы: при потере рабочего размера – хромирование; при выкрашивании или повреждении зубьев – стачивание части поврежденных зубьев, шлифование по плоско-

сти, а для плашек с головками: при потере рабочего размера – пайка пластин, хромирование, металлизация; при выкрашивании или повреждении зубьев – стачивание поврежденных зубьев.

Наиболее целесообразным способом восстановления отработавших метчиков является их перешлифовка на меньший размер (шаг тот же).

Отработавшие метчики нецелесообразно переделывать на меньшие размеры путем отжига и последующей механической обработки. Это обусловлено тем, что у такого метчика после определенного числа переточек на 1/3 уменьшаются перья. Это не дает возможности его переделать на ближайший меньший размер из-за возникающего отклонения от действующего стандарта. При этом при уменьшенных перьях стойкость инструмента значительно понижается. Поэтому при восстановлении метчиков путем их отжига и механической переделки можно использовать только среднюю часть отработавшего инструмента. Это требует стачивания большей части метчика. На рис. 1 показан разрез метчика по рабочей части. Часть перьев, которые сточены при соответствующих переточках, заштрихована. Штриховой линией вписан разрез метчика, который можно обеспечить после переделки.

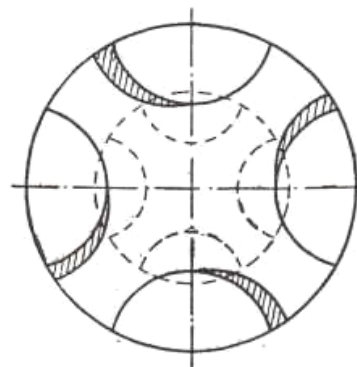


Рис. 1. Разрез метчика по рабочей части

Отработавшие метчики, которые нельзя восстановить перешлифовкой, можно переделать на меньший размер путем механической обработки в отожженном состоянии [4]. При этом маршрутная технология восстановления ручного метчика включает следующие операции:

1. Отбор метчиков.
2. Отжиг.
3. Отрезка со стороны хвостовика.
4. Точение хвостовика, рабочей и заборной части.
5. Фрезерование квадрата.
6. Фрезерование канавок.
7. Предварительная нарезка резьбы.
8. Контроль и маркировка.
9. Закалка.
10. Шлифование центровых отверстий.
11. Шлифование канавок.
12. Шлифование хвостовика и рабочей части.
13. Нарезание резьбы.
14. Затылование заборной части.

15. Цианирование.

16. Контроль.

Отбор отработавших метчиков производят по маркам сталей, длине режущей части, ширине пера, диаметральному размеру и состоянию резьбы.

Отжиг осуществляют в печи при температуре 860–880 °С в течение 3–5 ч. Скорость охлаждения 40 °С в час.

Отрезку со стороны хвостика, подрезку торца, зацентровку по чертежу выполняют на токарном станке (рис. 2, а).

Точение с хвостика с припуском 0,1–0,2 мм на шлифование, снятие фаски, проточку рабочей и заборной части по чертежу также производят на токарном станке (рис. 2, б).

Фрезерование квадрата осуществляют на фрезерном станке при помощи делительной головки, а канавок на горизонтально-фрезерном станке с той же головкой профильной фрезой (рис. 2, в).

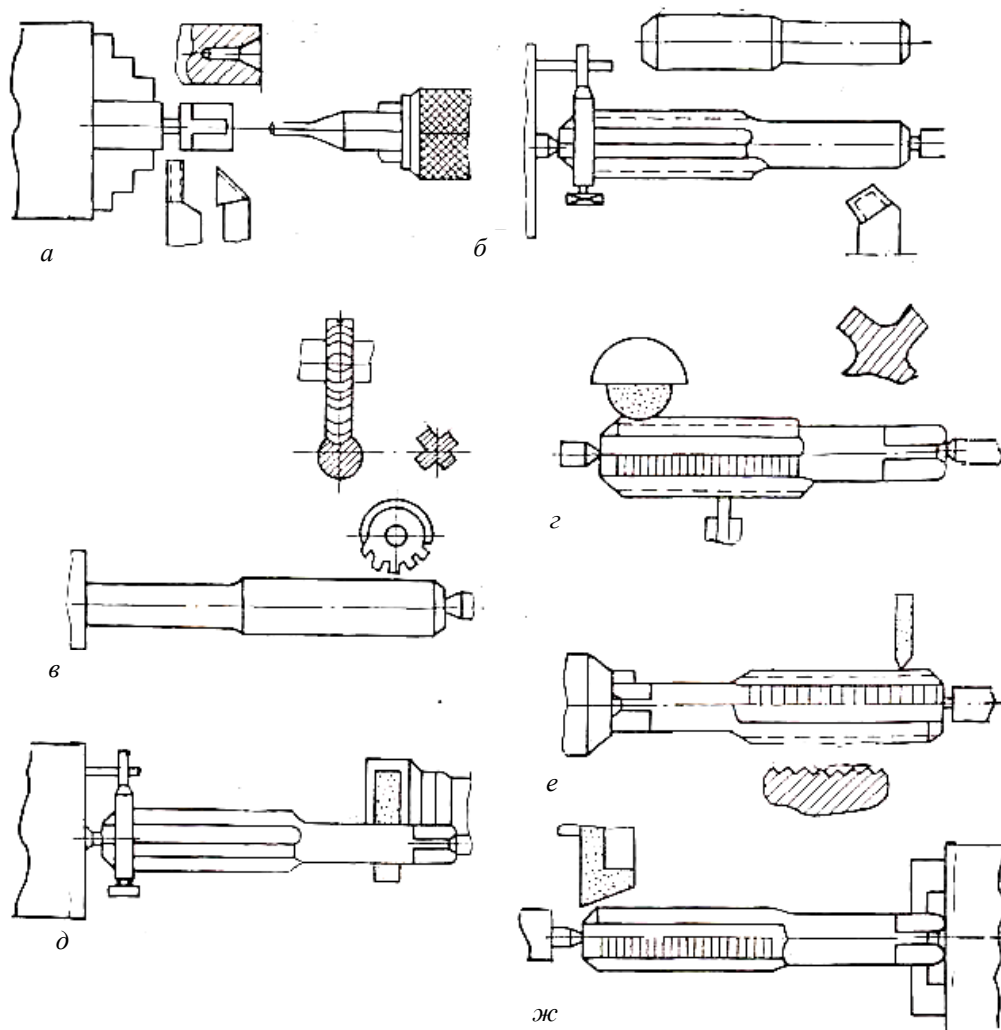


Рис. 2. Последовательность переделки метчиков

Предварительную нарезку резьбы (на метчиках диаметром 10 мм и выше) можно выполнять на токарном или резьбошлифовальном станке.

Закалку до твердости НКС 62–65 осуществляют при температуре 1020–1050 °С, отпуск при температуре 150–170 °С.

Шлифование центровых отверстий выполняют на вертикально-сверлильном станке алмазно-металлическим карандашом, канавок на заточном станке (рис. 2, *з*), а хвостика и рабочей

части на круглошлифовальном станке (рис. 2, *д*).

Нарезание резьбы по чертежу выполняют на резьбошлифовальном станке профильным шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке (рис. 2, *е*).

Затылование заборной части метчика осуществляют на затыловочном станке чашечным шлифовальным кругом (рис. 2, *ж*) с использованием приспособления для затылования (рис. 3).

Затем производят цианирование метчика и его контроль.

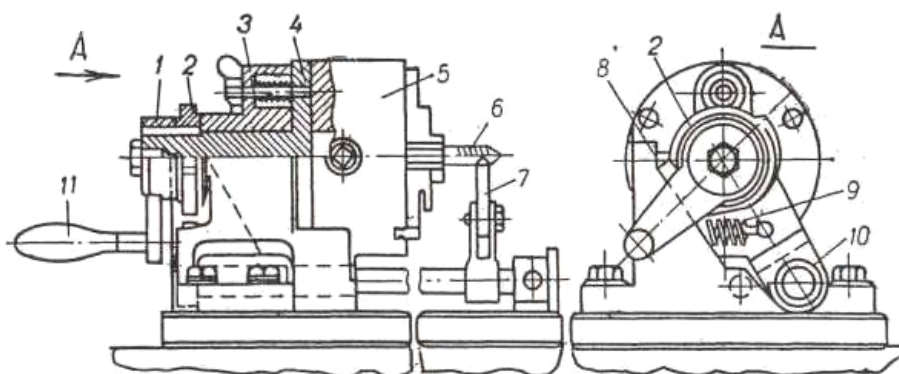


Рис. 3. Приспособление для затылования метчиков

Затылование заборной части производится с помощью приспособления следующей конструкции (рис. 3). Метчик 6 устанавливают и закрепляют в кулачковый патрон 5 таким образом, чтобы передняя часть пера опиралась на торец откидного упора 7, который фиксирует положение метчика. После закрепления метчика упор откидывают. Стопор 3 предотвращает проворот патрона 5 при установке метчика. Втулка 4 смонтирована на фланце шпинделя 1, к которому прикреплен винтами патрон 5. Во время обработки стопор 3 отключают и патрон 5 может свободно вращаться совместно со шпинделем 1. На последнем закреплен копирный кулачок 2. Его профиль выполнен в соответствии с геометрией затылованного метчика. К упору 8 копирный кулачок поджимается пружиной 9. При вращении рукоятки 11 по направлению часовой стрелки корпус приспособления качается на оси 10. Копирный кулачок 2 копирует профиль затылка метчика. Таким образом, шлифовальный круг осуществляет затылование метчика.

Метчики всех конструкций и размеров в случае потери ими рабочего размера можно восстановить на ближайший меньший размер (при том же шаге) за счет перешлифовки и углубления зубьев путем заточки. Маршрутная

технология этого способа для ручного метчика включает следующие операции.

1. Отбор метчиков.
2. Заточка передней грани зубьев.
3. Шлифование рабочей части.
4. Шлифование резьбы.
5. Шлифование заборной части.
6. Контроль.
7. Маркировка.

Вначале производят отбор метчиков по маркам сталей, длине режущей части, ширине пера, диаметральному размеру и состоянию резьбы. Заточку передней грани зубьев (рис. 4, *а*) выполняют на заточном станке шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке формой 2П, зернистость 25–40.

Шлифование рабочей части метчика по чертежу выполняют на кругло-шлифовальном станке шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке – форма 3П, зернистость 25 (рис. 4, *б*).

Шлифование резьбы (углубление канавок) (рис. 4, *в*) производят на резьбошлифовальном станке шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке, зернистость 5.

Шлифование заборной части с одновременным затылованием (рис. 4, *г*) выполняют на за-

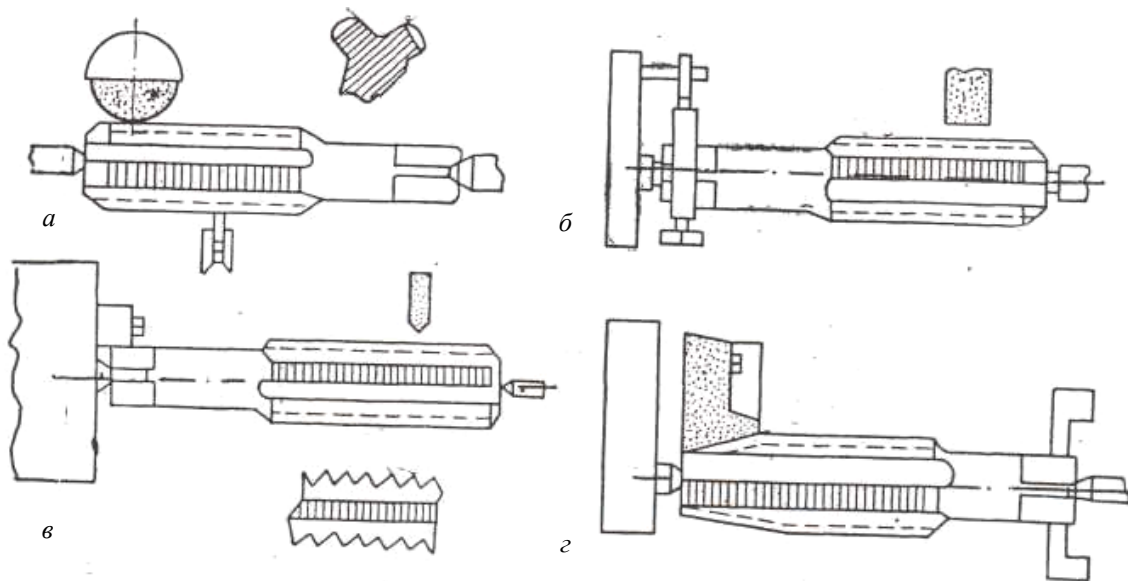


Рис. 4. Последовательность восстановления отработавших метчиков путем перешлифовки на ближайший меньший размер

точном станке чашечным шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке, зернистость 25–40. Затем осуществляют контроль и маркировку инструмента [5].

Отработавшие или ослабленные по профилю метчики, если они имеют полное перо, можно восстановить путем термической обработки в случае, если величина их износа по диаметру не превышает 30–35 мкм.

У инструментов, восстановленных термической обработкой, структура стали устойчива. Закаленные быстрорежущие стали в своей структуре имеют мартенсит и остаточный аустенит. При этом удельный объем мартенсита значительно больше, чем аустенита. Если в стали, из которой выполнен инструмент, после закалки имеется значительное количество остаточного аустенита, то при нагреве в масляной ванне до 250 °С и выдержке от 1 до 4 ч (в зави-

симости от степени износа, диаметра или отклонения от чертежных размеров) происходит распад аустенита и его переход в мартенсит. Дополнительный распад аустенита может быть обеспечен путем дополнительного отпуска при температуре 550–560 °С с выдержкой в течение 1,0–1,5 ч. Однако такой переход сопровождается некоторым увеличением объема инструмента, а поэтому и его диаметрального размера. Время выдержки метчиков (в часах) в зависимости от степени износа и диаметрального размера дано в таблице.

После выполнения термической обработки метчики необходимо промыть в щелочном растворе и горячей воде, затем просушить и проконтролировать по среднему диаметру.

Метчики, которые имеют отдельно выкрошенные зубья, можно применять для работы, но при обязательной сошлифовке дефектных зубьев.

Зависимость времени выдержки метчиков от степени износа и диаметрального размера

Диаметр метчика, мм	Занижение размера, мкм						
	5	10	15	20	25	30	35
	Время выдержки метчиков, ч						
До 10	3,0	5,0	–	–	–	–	–
10–15	1,5	2,0	4,0	5,0	–	–	–
16–25	1,3	1,8	3,5	3,5	4,0	5,0	–
26–35	1,1	1,5	3,0	3	4,0	4,5	5,0

Если выкрошенные зубья метчика расположены на заборной части, то следует ее всю сошлифовать до основания зубьев и выполнить

новую заборную часть шлифованием заборного конуса на первых калибрующих зубьях. Это несколько уменьшает длину рабочей части

метчика. Если выкрошенные зубья находятся на калибрующей части, то их сошлифовывают острозаправленным шлифовальным кругом. Это допустимо, если имеется не более двух смежных выкрошенных зубьев.

Если метчики потеряли в результате ряда заточек нормально допустимую толщину пера, их переделка на меньший диаметральный размер с тем же шагом невозможна, и такие метчики можно переделать на другие виды инструмента – концевые фрезы или зенковки. Последовательность операций переделки отработавших метчиков на зенковки: 1) кузнечная оттяжка конца рабочей части метчика под необходимый угол зенковки (60, 75, 90°); 2) шлифование по наружному диаметру до полного удаления резьбы на калибрующей части; 3) шлифование конуса под заданный угол зенковки; 4) термическая обработка (закалка, отпуск); 5) заточка зенковки по передней и задней граням зубьев на конусе; 6) упрочнение режущих граней твердым сплавом посредством электроискровой установки; 7) зачистка старой и нанесение новой маркировки.

Маршрутная технология переделки метчиков на концевые фрезы включает следующую последовательность операций: 1) шлифование по наружной поверхности до полного удаления резьбы; 2) заточка зубьев фрезы по передней и задней граням на необходимые углы; 3) прорезка и заточка зубьев на торце фрезы; 4) упрочнение задней грани зубьев твердым сплавом посредством электроискровой установки.

Соответствующими операциями отработавший метчик можно переделать на четырехперый зенкер или зенковку для чистовой обработки.

Круглые плашки в основном выходят из строя из-за износа отдельных витков, износа по резьбе и дефектов заборной части. Такие плашки можно восстанавливать путем удаления выкрошенных витков и исправлением заборной части. Восстановление плашек начинают с удаления выкрошенных витков по всей длине пера на заточном станке. Далее осуществляют заточку заборной части с двух сторон и затыловку заборной части.

Восстанавливать отработавшие плашки переделкой их на больший размер нерационально. Это обусловлено тем, что стоимость переделки дороже, чем изготовление новой плашки.

Накатные плашки, имеющие износ профиля резьбы, можно восстанавливать путем отжига и

последующей механической обработки. Маршрутная технология этого способа восстановления включает следующие операции: 1) подборка годных для восстановления накатных плашек (годными являются плашки, высота которых h составляет не менее 50 % от первоначального размера); 2) отжиг при температуре 860 °С в течении 3–5 ч, скорость охлаждения 40 °С в ч; 3) обработка плашки на пескоструйной установке; 4) рассортировка плашек по комплектам (подвижные и неподвижные) и по размерам h (с допуском 5 мм); 5) опиловка старого клейма и нанесение нового; 6) снятие резьбы строганием или фрезерованием; 7) шлифование с четырех сторон под угольник; 8) фрезерование профиля зубьев резьбовой фрезой на горизонтально-фрезерном станке; 9) закалка до твердости НКС 62–63 при температуре 1020–1040 °С в электросоляной ванне, отпуск при температуре 150–170 °С (для стали Х12М); 10) притирка профиля резьбы чугунным притиром (притир фрезеруют той же фрезой, что и плашки).

На отремонтированные инструменты могут быть нанесены износостойкие покрытия [6, 7].

Использование приведенных технологий восстановления отработавших метчиков и плашек позволяет сократить производственные затраты на инструмент и изготовление продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, С. Н. Решение задач технологического перевооружения машиностроения / С. Н. Григорьев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2008. – № 3. – С. 5–9.
2. Григорьев, С. Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учеб. для студентов вузов / С. Н. Григорьев. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.
3. Григорьев, С. Н. Методы осаждения износостойких нанопокрывтий в инструментальном производстве / С. Н. Григорьев // Металлургия машиностроения. – 2011. – № 1. – С. 37–43.
4. Кузнецов, Д. И. Многократное восстановление инструментов / Д. И. Кузнецов, А. Л. Иткин. – Киев: Машгиз, 1961. – 278 с.
5. Григорьев, С. Н. Инженерия поверхности металло-режущего инструмента методом комбинированной вакуумно-плазменной обработки. Ч. 2 // С. Н. Григорьев, М. А. Волосова // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2004. – № 8. – С. 2–6.
6. Григорьев, С. Н. Современные инструментальные материалы / С. Н. Григорьев, В. А. Гречишников, А. Р. Маслов, А. Г. Схиртладзе. – М.: Изд. МГТУ «Станкин», 2011. – 104 с.
7. Андреев, А. А. Износостойкие вакуумно-дуговые покрытия на основе титана в инструментальном производстве / А. А. Андреев, С. Н. Григорьев // СТИН. – 2006. – № 2. – С. 19–24.

УДК 621.9

А. Г. Схиртладзе, С. Ю. Быков, С. А. Схиртладзе
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТОКАРНЫХ ПАТРОНОВ

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: ags@stankin.ru

В статье приведена методика восстановления изношенных универсальных токарных патронов в условиях ремонтного производства. Даны технологии восстановления отдельных элементов.

Ключевые слова: токарный патрон, восстановление.

In article considered recovery methods of universal worn-down lathe chucks under recovery production. Described recovery technology of single elements.

Keywords: lathe chuck, recovery.

В настоящее время в основном и ремонтном машиностроительном производстве эксплуатируется большое количество токарных патронов, служащих для установки и закрепления обрабатываемых заготовок деталей различного назначения. С течением времени происходит изнашивание элементов патронов и возникает необходимость их восстановления с целью экономии средств на эти приспособления. Подлежащий восстановлению патрон следует разобрать и провести дефектацию его элементов.

Корпус токарного патрона, имеющий сквозные трещины, восстановлению не подлежит. В корпусе ремонтируемого патрона нельзя выполнять перенарезку резьбы для закрепления крышки, малой конической шестерни и рейки для закрепления кулачка. Если резьба в указанных местах изношена, то следует рассверлить отверстия и в них запрессовать заглушки, в которых нужно нарезать новую резьбу согласно размерам, указанным в чертеже патрона.

При наличии в корпусе одностороннего или двустороннего излома направляющей под кулачки его можно восстановить в следующей последовательности. Концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке удалить изломанный выступ (рис. 1, а). Затем Т-образной фрезой выполнить новый паз (рис. 1, б) и запрессовать в него планку, которая соответствует размерам направления, данным на чертеже патрона.

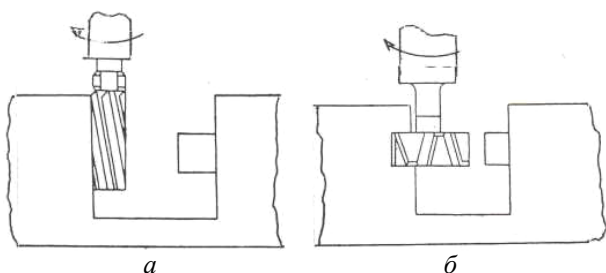


Рис. 1. Схема фрезерования корпуса патрона: а – изломанного выступа корпуса; б – паза корпуса

Восстановление большой конической шестерни следует производить в следующей последовательности [Кузнецов, Д. И. Многократное восстановление инструментов / Д. И. Кузнецов, А. Л. Иткин. – Киев.: Машгиз, 1961. – 278 с.]. Эту деталь нужно установить и закрепить в патроне токарного станка и проверить на наличие биения по наружному диаметру и торцам (допускаемое отклонение 0,05–0,1 мм) и сточить изношенные зубья по конусу, оставляя при этом следы этих зубьев высотой 4–5 мм. Затем следует выполнить наплавку отработавших зубьев. Наплавку можно выполнять электродами из сталей марки 20 или 45. Первый слой наплавки следует накладывать вдоль впадин отработавших зубьев от наружного диаметра шестерни к ее отверстию в порядке, показанном на рис. 2.

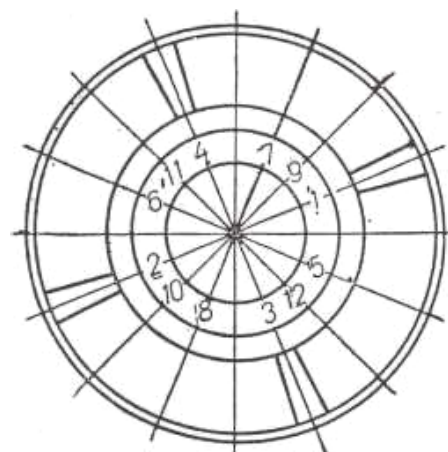


Рис. 2. Последовательность наплавки большой конической шестерни

После наплавки первого слоя его необходимо очистить от окалины металлической щеткой. Затем выполняют наплавку второго слоя: вначале по кромке наружного диаметра, затем внутреннего диаметра, а потом среднего. Толщина слоя наплавленного металла должна на

2–5 мм превышать уровень торца (рис. 3). После наплавки шестерня должна остыть на воздухе.

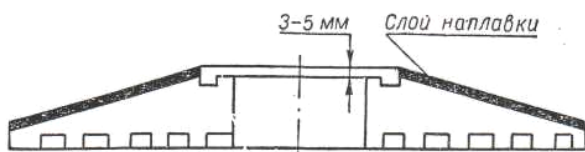


Рис. 3. Слой наплавки большой конической шестерни

Восстанавливаемую шестерню устанавливают и закрепляют в патроне токарного станка и проверяют на биение по наружному диаметру и торцу с точностью до 0,1 мм. Затем шестерню проворачивают по наружному диаметру и наплавленному слою по конусу. Далее шестерню переустанавливают в патроне и контролируют резцом отверстие и второй торец и зачищают спираль. Затем на горизонтально-фрезерном или зубострогательном станке нарезают зубья шестерни.

Размеры зуба шестерни необходимо выдерживать по чертежу и контролировать зубомером. Нарезка зубьев должна осуществляться по наплавленному слою в центре впадины старого зуба. После зубонарезания опиливают заусенцы и снимают фаски слесарным инструментом. Затем в электропечи выполняют термическую обработку шестерни – закалку и отпуск до твердости HRC 20–25. После термообработки шестерню очищают на пескоструйном аппарате и проверяют на твердость. Шестерни, у которых одновременно с износом зубьев вышла из строя спираль, восстановлению не подлежат.

Малая коническая шестерня, если она имеет критический износ или поломки зубьев, восстановлению не подлежат. Ее необходимо заменить на новую. Восстанавливать можно только ряд следующих элементов шестерни.

Место под ключ. Гнездо квадрата заваривают электросваркой, подрезают торец, сверлят отвер-

стие под квадрат и снимают в отверстии фаску 3 мм×45°. Квадрат долбят на долбежном станке.

Направляющий хвостовик. Изношенный или изломанный торец хвостовика подрезают на токарном станке. Затем сверлят и растачивают отверстия нового направляющего хвостовика. После этого запрессовывают новый хвостовик и обваривают его электродом или газовой сваркой. Далее на токарном станке протачивают сварной шов, центрируют новый хвостовик и контролируют его диаметральный размер.

Если рейка кулачка имеет критический износ или поломку ленточной резьбы, то она восстановлению не подлежит. Ее необходимо заменить новой рейкой.

Верхний кулачок. При износе его зажимных рабочих поверхностей их восстанавливают наплавкой (рис. 4). После этого обрабатывают на точиле по шаблону или угломеру. Заплавленное отверстие под крепежный болт рассверливают на сверлильном станке.

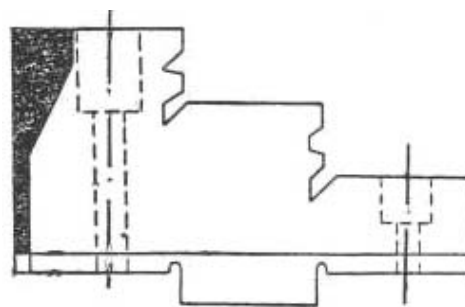


Рис. 4. Схема наплавки верхнего кулачка патрона

После восстановления элементов патрона их очищают и собирают патрон, который испытывают на биение (важно отсутствие дисбаланса), на усиление зажима заготовок, а также в процессе работы. Если имеется биение кулачков, то их протачивают или пришлифовывают на месте при проведении испытаний.

УДК 621.9

А. Г. Схиртладзе, С. Ю. Быков, С. А. Схиртладзе

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВЕРЛ

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: ags@stankin.ru

В статье рассмотрены различные мероприятия по многократному восстановлению отработавших спиральных сверл. Приведены различные технологии восстановления, а также переделки отработавших сверл на новые виды инструмента.

Ключевые слова: спиральное сверло, восстановление, износ.

Considered the action of multiple recovery of used twist drills. The different recovery technology, as well as the alteration of used drill for new types of tools.

Keywords: twist drill, recovery, deterioration.

В настоящее время на предприятиях машиностроительной отрасли используется огромное количество сверл различных по конструкции, конструктивным и геометрическим параметрам. В процессе эксплуатации этого режущего инструмента происходит его естественный износ, присущий каждому инструменту, а также возникают, вследствие действия различных случайных факторов, повреждения различного характера. К этим факторам относятся, например, неправильное назначение режимов обработки заготовок, ненормальный режим работы, резкие колебания припуска и твердости обрабатываемого материала, небрежное обращение персонала с инструментом.

Эффективным методом снижения производственных затрат является восстановление инструментов и, в частности, сверл. Эффективность восстановления инструментов различна и, главным образом, зависит от степени серийности производства, а поэтому, и от количества потребляемых инструментов. Важное значение имеет также степень нормализации инструментов, так как чем большее количество наименований инструмента нормализовано, тем больше возможностей и выше эффект многократного восстановления. При восстановлении инструментов следует различать основные термины: «износ», «повреждение», «восстановление» и «переделка».

Под восстановлением следует понимать приведение сверл в работоспособное состояние вне зависимости от того, восстановлен ли данный инструмент с сохранением начальных конструктивных размеров, или эти размеры при восстановлении изменились. Главное то, что вид инструмента не изменился. Переделка представляет собой изменение вида отработавшего инструмента (отработавшее полностью спиральное сверло переделывается на центровое сверло). Понятие «использование» отработавших инструментов может иметь двойное значение: первое – когда сверло из-за износа не может быть применено на другой операции механической обработки. Например, сверло, которое имело ряд переточек, вследствие уменьшения длины режущей части, не может быть использовано для выполнения данной операции, но может быть применено для другой операции, где требуется меньшая длина. Сверла, непригодные для выполнения данной операции, могут быть после заточки использованы для других операций. Индекс таких инструментов

нужно менять; второе – когда сверла не могут быть ни восстановлены, ни переделаны – в данном случае их отправляют на переплавку или применяют для выполнения наплавочных работ.

Последовательное восстановление сверл с больших на меньшие размеры, при правильных режимах термической обработки, как правило, не отражается на их количестве. Требования, предъявляемые к восстановленным, должны быть в основном аналогичны тем, которые предъявляют к вновь изготавливаемым сверлам. Однако отдельные параметры геометрии восстановленных сверл могут иметь незначительные отклонения. Это должно быть оговорено в технических условиях на восстановление.

Если технология изготовления новых сверл стабильна, то технология восстановления в некоторых начальных операциях может изменяться в зависимости от характера износа или повреждения. Однако конечные операции (шлифование, заточка) должны быть такими же, как и при изготовлении новых сверл.

К мероприятиям по восстановлению спиральных сверл относятся: использование отработавших сверл в качестве полуфабрикатов; переделка сверл на другой размер; восстановление сверл для выполнения других операций; исправление повреждений или поломок отдельных элементов сверл.

В практике восстановления сверл наиболее часто встречаются следующие типичные случаи [1]: перешлифовка рабочей части сверл без переделки хвостовика; восстановление первоначальной длины сверла и замена хвостовой части; перешлифовка с переделкой конусного хвостовика на меньший размер; устранение механических повреждений.

Восстановление сверл путем перешлифовки является простым и экологическим способом.

Технология многократного восстановления сверл заключается в том, что из отработавшего сверла диаметром d_1 и длиной L_1 (рис. 1) выпол-

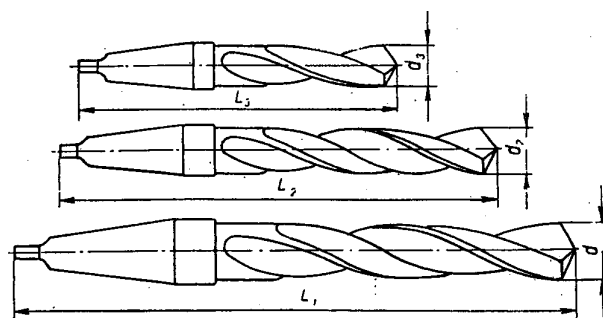
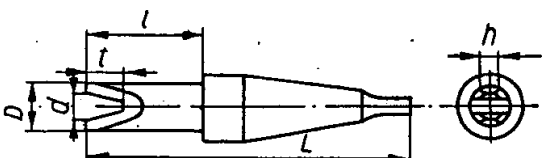


Рис. 1. Схема многократного восстановления сверл

няют сверло диаметром d_2 и длиной L_2 , далее после его эксплуатации выполняют сверло диаметром d_3 и длиной L_3 и т. д.

Однако при переделке у сверла отсутствует центр на конце его рабочей части. Это усложняет процесс шлифования сверла по наружному диаметру. Поэтому шлифование выполняют посредством поводковой вилки (рис. 2).



№	L	l	D	d	t	h	Конус	Сталь
1	125	25	7	5	7	2	Модзев'З	45
2	130	30	8,5	6	9	2		
3	135	35	10	7	12	3		
4	140	40	20	16	16	5		

Рис. 2. Поводковая вилка

Сначала восстанавливаемые сверла рихтуются с целью устранения биения. Чем меньше величина биения, тем выше качество восстановления инструмента. Допускаемое биение 0,05–0,08 мм, то есть смещение центров должно быть в пределах 0,03–0,04 мм.

Сверло затачивают по задней грани режущей кромки, а затем шлифуют. При этом поводковая вилка служит одновременно и фиксатором центрального расположения сверла, и поводком. Поэтому поводковые выступы должны быть точно расположены относительно данных центров шлифовального станка. Для шлифования сверл различного диаметра должен иметься набор поводковых вилок (рис. 2). Предварительное шлифование сверл по наружному диаметру следует выполнять на круглошлифовальном станке, а окончательное на бесцентрово-шлифовальном станке. Это объясняется тем, что на круглошлифовальном станке при выходе круга из канавки возможен вырыв крайних участков пера сверла. Вследствие этого появляется завал. При этом завал возрастает с увеличением диаметра сверла, так как при широкой канавке отклонение шлифовального круга в радиальном направлении значительно.

Сверла небольшого диаметра нужно шлифовать на бесцентрово-шлифовальном станке. Сверла диаметром до 6 мм можно одновременно шлифовать по всей длине, в том числе и по обратному конусу. Это устраняет одну операцию – шлифование по цилиндрической части.

Для выполнения направляющей ленточки нужно шлифовать рабочую часть сверла по затылку. Эту операцию осуществляют посредством специальной направляющей втулки (рис. 3), приспособления и заточного станка.

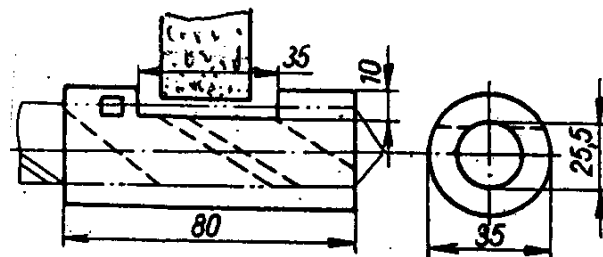


Рис. 3. Втулка для шлифования затылка сверл

Втулка (рис. 3) служит для затылования перьев сверла диаметром до 25 мм. Втулка оснащена штифтом для обеспечения спирального движения сверла при его перемещении во втулке вручную (резьба штифта М3 × 0,5). Во втулке выполнено окошко для шлифовального круга. Приспособление осуществляет продольную подачу для настройки на ширину ленточки сверла и поперечную – для установки шлифовального круга на глубину шлифования. При затыловании шлифовальный круг за счет усилия резания прижимает сверло к направляющему штифту. Спиральное перемещение восстанавливаемого сверла вдоль направляющей втулки и поперечная подача осуществляются до окончания затылования на заданную величину. Направляющие втулки изготавливают различных размеров, каждый из которых охватывает определенный диапазон диаметров восстанавливаемых сверл.

Затылование сверл диаметром более 25 мм можно выполнять без направляющей втулки. Для придания сверлу движения по спирали на шлифовальной головке станка закрепляют неподвижный упор, контактирующий со сверлом.

Затем выполняют окончательную заточку режущих кромок сверла и подгонку лапки до нормального размера. Повторная заточка необходима из-за того, что поводковые вилки при тупят режущие кромки сверл. Так как у восстанавливаемых сверл перемячка по толщине больше, чем допускает стандарт, то операция подточки перемячки обязательна.

Для удлинения восстанавливаемого сверла или если необходима замена хвостовика, используется способ приварки новых хвостовиков на стыковой сварочной машине. В данном случае старый хвостовик отрезают и обрабатывают

заготовку для приварки хвостовика из стали марки 40Х или 45. Затем выполняют приварку и обработку приваренной части.

При реализации данного способа восстановления сверл необходимо выдерживать следующие требования: биение не должно превышать 0,2–0,25 мм, для чего после приварки хвостовика, а также перед шлифованием необходимо выполнить рихтовку сверл; после рихтовки нужно выполнить центровку сверл в трехкулачковом патроне (при установке с минимальным биением); произвести чистовую обточку конуса хвостовика в центрах с использованием поводковой вилки; перед шлифованием хвостовик следует подкалить, для того, чтобы избежать свертывания и забоин в процессе эксплуатации, твердость лапки после закалки должны быть в пределах HRC 35–40; заточку по задней рабочей части сверла выполнить до обточки хвостовика предварительно и окончательно с наружного шлифования.

Указанный способ рационально применять периодически после сбора партии сверл, у которых нужно осуществить замену хвостовика.

Если возникает необходимость переделки конусного хвостовика большего размера на меньший (конус Морзе № 4 на № 3), то хвостовик нужно подвергнуть высокому отпуску при температуре 500–600 °С, не допуская при этом снижения твердости рабочей части. После этого нужно отрихтовать, затем обточить конус, выполнить центровку и фрезерование лапки твердосплавным режущим инструментом.

После токарной обработки необходимо осуществить дополнительную закалку лапки, причем (так как до обработки отжиг не производился) твердость хвостовика обеспечивает предохранение от заедания и забоин. Затем выполняют наружное шлифование конуса, рабочей части и затылка, окончательную заточку сверла и подточку его перемычки. Твердость лапки хвостовика из сталей марок 40Х и 45, HRC 35–40.

В процессе эксплуатации сверл часто происходит свертывание лапки. Поврежденную лапку срезают и приваривают на это место кусок металла той же марки стали, что и хвостовик. Затем осуществляют центровку и подгоняют лапку на точиле и подкалывают ее. Процесс подгонки контролируют калибровочной тулкой.

При перешлифовке сверл с цилиндрическим хвостовиком рекомендуется оставлять припуски, приведенные в таблице.

Припуски при шлифовке сверл с цилиндрическим хвостовиком

Диаметр сверла, мм	Припуск, мкм	
	максимальный	минимальный
2–4	0,3	0,05
4–6	0,5	0,05
6–10	0,8	0,10
10–20	1,2	0,10
Свыше 20	2,0	0,15

После выполнения переточек у некоторых сверл изменяется длина и они не могут использоваться на операциях, для которых предназначены. Такие сверла после изменения их индекса могут быть применены для других операций. Ряд сверл из-за значительного износа теряет работоспособность. Рабочую часть таких сверл можно использовать для изготовления режущих инструментов другого технологического назначения. Например, из отработавших сверл можно изготавливать двухперые фрезы путем затачивания сверл до основания на требуемую геометрическую форму (рис. 4).

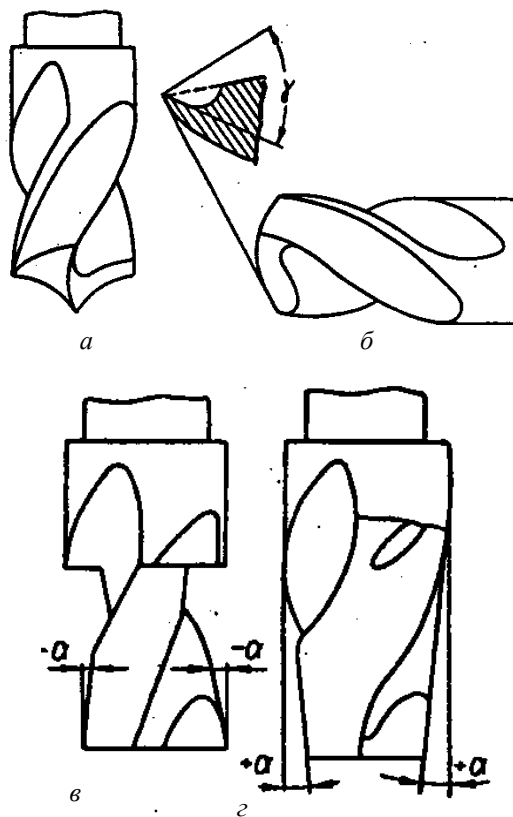


Рис. 4. Фрезы, изготовленные из отработанных сверл: а – фреза с вогнутой режущей кромкой; б – с выпуклой режущей кромкой; в, г – конические фрезы

Эти фрезы обладают высокой стойкостью и могут использоваться для обработки чугуна, алюминия и других цветных металлов и сплавов, а также конструктивно сложных металлических моделей, имеющих большое количество литейных уклонов и закруглений. Отработавшие спиральные сверла можно также переделывать на центровочные. При этом отбор сверл осуществляют по состоянию поверхности по длине сверла.

Шлифование по конусу и цилиндру до требуемого размера можно выполнять фасонным шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке (форма ПП, зернистость 25–40) (рис. 5, а). В процессе шлифования не допускается перегрев заготовки.

Прорезку канавок с двух сторон до требуемого размера можно осуществлять дисковым шлифовальным кругом из нормального электрокорунда на керамической связке (форма Д, зернистость 25–40) (рис. 5, б).

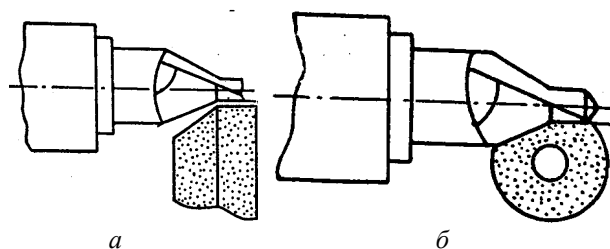


Рис. 5. Схема обработки сверл шлифовальным кругом: а – шлифование по конусу и цилиндру; б – прорезка канавок

Шлифование затылков производится на универсально-заточном станке тем же кругом, который используется для шлифования по конусу и цилиндру с применением затыловочного приспособления (рис. 6).

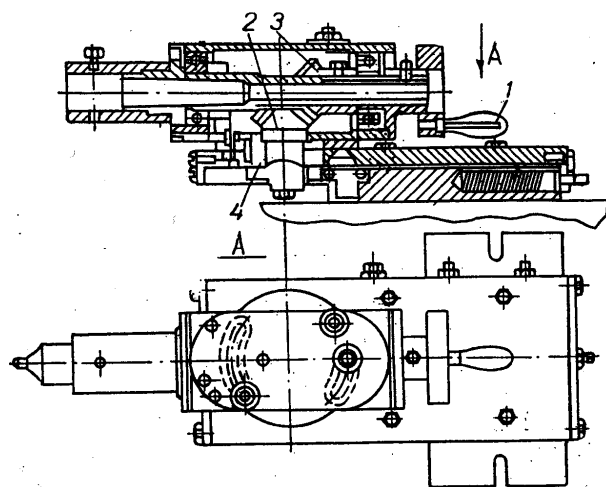


Рис. 6. Приспособление для затылования сверл

Сверло устанавливают и закрепляют в шпинделе этого приспособления. Вращением рукоятки 1 поворачивают сверло и шестерни 2 и 3. Последние вращают кулачок 4. Профиль кулачка определяет закон возвратно поступательного движения шлифовального круга, а поэтому и форму кривой затылка зуба центровочного сверла. Подъем кулачка обеспечивает получение угла в 10° .

Сломанные по рабочей части спиральные сверла могут быть использованы для последующей эксплуатации путем вклеивания в хвостовики отработавших инструментов. Как правило, конические хвостовики отработавших сверл не имеют повреждений в виде вмятин, забоин и могут быть повторно использованы.

Отжиг хвостовика отработавшего инструмента следует выполнять в условиях, исключая окисления, а зачистку хвостовика – шкуркой на токарном станке.

Отрезку от хвостовика отработавшей части инструмента, подрезку торца и сверление отверстия под втулку сломанного сверла можно осуществлять на токарном или револьверном станке. Хвостовик устанавливают и закрепляют посредством зажимной переходной втулки. Диаметр отверстия в хвостовике под вклейку сверла должен быть на 0,05–0,1 мм больше диаметра вклеиваемого сверла, а длина – в пределах от трех до четырех диаметральных размеров.

Закалку инструмента следует выполнять в условиях, не допускающих окисления. Подготовка сверла к вклеиванию заключается в том, что его поверхность должна быть сухой, чистой, без жирных налетов. Вклеиваемую часть сверла можно предварительно обработать грубой шлифовальной шкуркой для придания поверхности шероховатости. Перед вклейкой сверла обезжиривают ацетоном, бензолом или спиртом и насухо протирают.

Часть сверла, предназначенную для вклейки, окунают в карбиновый клей и вставляют в отверстие хвостовика. После склеивания осуществляют естественную сушку до полного затвердевания клея в течение 24–40 часов. Затем выполняют рихтовку сверл на ручном прессе и зачистку хвостовика тонкой шлифовальной шкуркой.

Карбиновый клей готовят из карбинола или карбинольного сиропа. На 100 г карбинола используют 0,5 г перекиси бензоила. Фарфоровую или стеклянную посуду со смесью опу-

скают в горячую воду (65–70 °С) на 1,5–2,0 часа до получения карбинольного сиропа глицеринообразной консистенции. К полученному сиропу добавляют 2–3 % мелко растертой перекиси бензоила, который является катализатором, и перемешивают до его полного растворения. Склеивание выполняют через 15–20 мин после растворения перекиси бензоила. Прочность склеивания указанных деталей устойчива до температуры 65–70 °С. При более высокой температуре прочность склеивания постепенно уменьшается.

На отремонтированные инструменты могут быть нанесены износостойкие покрытия.

Использование указанных мероприятий по восстановлению спиральных сверл позволяет сократить производственные затраты на инструмент и изготовление продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов, Д. И. Многократное восстановление инструментов / Д. И. Кузнецов, А. Л. Иткин. – Киев.: Машгиз, 1961. – 278 с.
2. Григорьев, С. Н. Современные инструментальные материалы / С. Н. Григорьев В. А. Гречишников, А. Р. Маслов, А. Г. Схиртладзе. – М: Изд. МГТУ «Станкин», 2011. – 104 с.

УДК 621.9

А. Г. Схиртладзе, В. А. Тимирязев

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

E-mail: ags@stankin.ru

Рассмотрены вопросы обеспечения технологичности конструкций технических изделий в основном и ремонтном машиностроительном производстве, совершенствование их технических характеристик и качества изготовления, повышения технического уровня производства за счет внедрения ряда мероприятий технического, организационного и экономического характера.

Ключевые слова: технологичность, показатель, продукция, предприятие, производство, эксплуатация, технологическая система, технологическая подготовка производства.

Considered the problems of ensuring manufacturability of designs of technical products in the main and repair the machine-building production, improve their performance and quality of production, raising the technical level of production through the introduction of a number of measures of technical, organizational and economic nature.

Keywords: manufacturability, value, production, business, production, operations, technology systems, technological preparation of production.

Любое техническое изделие, изготавливаемое вновь или ремонтируемое, обладает определенной номенклатурой технических характеристик. В ходе эволюционного совершенствования машин одного служебного назначения каждая из основных технических характеристик претерпевает изменение по закону логической или сигмондальной кривой [1,2]. Первый этап эволюционного развития машин характеризуется небольшим ростом уровня определенной технической характеристики. Это обусловлено незначительным научно-техническим потенциалом, а также производственным опытом по разработке конструкции нового технического изделия. На втором этапе уровень технической характеристики возрастает. Третий этап характеризуется замедлением роста уровня технической характеристики из-за окончания существующих технических возможностей дальнейшего его увеличения. Вследствие этого возникает необходимость применения новых

физических, технологических и организационных принципов при создании технических изделий, которые обеспечивают повышение уровня технической характеристики. Происходит новый цикл эволюционного развития технического изделия.

Номенклатуру основных технических характеристик сложных по конструкции технических изделий можно подразделить на следующие четыре большие группы параметров производительности, надежности, стоимости, габаритных размеров и масс [3].

Можно выделить совокупность технических характеристик $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \dots, a_{n1})$ изделия, комплекс характеристик, определяющих условия использования технического изделия $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_j, \dots, b_{n2})$, а также совокупность характеристик, описывающих метод его применения $(P_1, P_2, P_3, \dots, P_j, \dots, P_{n3})$. Для описания результатов использования технического изделия

в определенных эксплуатационных условиях применяется тактическая характеристика T_i , которая определяется как $T_i = F_{T_i}(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, \dots, P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots)$

Комплекс данных характеристик полностью отражает результат применения технического изделия в заданных определенных условиях функционирования как уровень его соответствия своему служебному назначению, которое является целевой эффективностью $\mathcal{E}_{ц}$ [4]. Совокупность свойств технического изделия, которые определяются уровнем $\mathcal{E}_{ц} = F_{\mathcal{E}_{ц}}(T_1, T_2, T_3, \dots, T_j, \dots, T_n)$, может в процессе функционирования изменяться вследствие отклонения условий его использования в соответствии со служебным назначением ($b_1, b_2, b_3, \dots, b_j, \dots, b_{n2}$), а также возникновения некоторых новых требований к методам применения данного технического изделия ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_j, \dots, P_{n3}$). Указанные изменения вызывают необходимость постоянного планомерного увеличения значений технических характеристик ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \dots, a_{n1}$) для обеспечения требуемого уровня целевой эффективности $\mathcal{E}_{цт}$.

Возможности увеличения значения a_i технологической характеристики зависят от этапа ее эволюционного развития, который соответствует моменту времени разработки нового технического изделия (рис. 1).

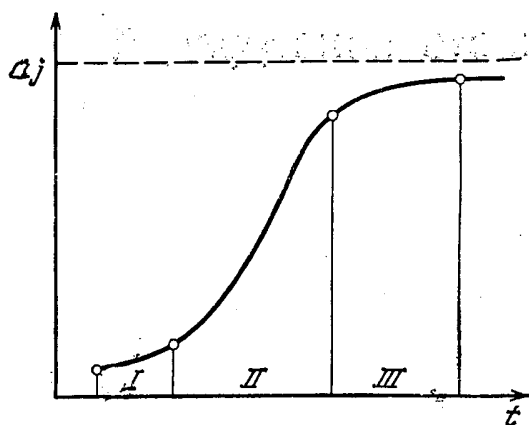


Рис. 1. Изменение значений a_i технической характеристики в процессе развития однотипных технических систем

Потенциальные возможности этого увеличения для однотипных технических изделий имеются на втором этапе развития данной характеристики. В общем случае на момент разработки нового технического изделия его тех-

нические характеристики находятся на разных этапах развития. Конструктивно-технологические решения, которые закладываются в новое технологическое изделие, основываются на имеющемся к моменту его разработки научно-техническом потенциале. Последний определяет технические возможности разработки нового технического изделия с требуемым уровнем технических характеристик. Разработчики изделия, как правило, стремятся заложить в его конструкцию наиболее прогрессивные и эффективные конструктивно-технологические решения. Однако часто существуют различные ограничения технического, организационного и экономического характера, которые не позволяют полностью использовать последние, на момент создания изделия, научно-технические достижения, степень применения которых и определяет его надлежащий технический уровень, отвечающий высокому качеству [5].

В условиях рыночной экономики эффективной сферой деятельности предприятий, корпораций и фирм является выпуск наукоемких технических изделий высокого качества, базирующейся на самых передовых достижениях науки и техники и содержащих в своей основе интеллектуальную собственность высокой стоимости. Потребительские свойства выпускаемой продукции должны быть конкурентоспособны, то есть должны превышать мировой уровень или, по крайней мере, соответствовать ему [6]. Наукоемкость можно охарактеризовать показателем:

$$П_n = \mathcal{E}_{цп} / C_{мэ},$$

где $\mathcal{E}_{цп}$ – цена единицы выпускаемой продукции, формируемая на открытом рынке; $C_{мэ}$ – стоимость приобретаемых предприятием материальных элементов (сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих) и энергии, непосредственно затрачиваемых на единицу продукции.

Показатель наукоемкости $П_n$, например, для станкостроения и автомобильной промышленности достигает $10^1 \dots 10^2$, для робототехники, авиационной, космической, электронной, атомной техники превышает $10^2 \dots 10^3$, а для компьютерных программ составляет $10^4 \dots 10^6$.

Непрерывный характер развития научно-технического прогресса предопределяет необходимость выполнения быстрого перехода к серийному и массовому производству, постоянного обновления и совершенствования технических характеристик продукции, а также обеспе-

чения требуемого и стабильного качества с высокой экономической эффективностью [7].

Для оценки технического уровня машин в ряде случаев используется система специальных показателей. Так, например, применительно только к одному типу технических изделий (двигателям внутреннего сгорания) с учетом их спецификаций используется комплекс показателей технического и технико-экономического характера. Основными техническими показателями двигателя являются отношение объемов цилиндра к массе двигателя, а также отношение номинальной мощности двигателя к его массе. Помимо основных показателей применяется ряд критериев: показатели использования пространства (отношение рабочего объема цилиндров к объему занимаемого двигателем пространства и отношение номинальной мощности к этому же объему); показатель форсирования (удельная мощность двигателя); показатель использования масла для смазки (количество масла, отнесенного к количеству топлива); дополнительные показатели, номенклатура которых определяется индивидуально для каждого типа двигателя.

Основными показателями технико-экономического характера являются: показатель работоспособности (отношение времени непрерывной работы двигателя к сумме этого времени и

времени, которое затрагивается на приведение двигателя в работоспособное состояние); показатель долговечности (срок службы двигателя до капитального ремонта и его списания для утилизации); показатели технологичности конструкции двигателя; показатели эксплуатационной технологичности; дополнительные показатели технико-экономического характера [8,9].

В общем случае перечень показателей технического уровня машин значителен и при большой номенклатуре последних оценка уровня имеет частный характер и не может быть распространена даже на такие же технические изделия другого типа.

Технологичность изделий используется как одно из основных направлений, характеризующих технический уровень новой конструкции. Технологичность входит в группы показателей качества технических изделий (рис. 2).

Качество последних является сложной интегральной характеристикой, определяющей потребительские свойства изделий, то есть способность выполнять установленные функции. В совокупность свойств технических изделий входят различные группы показателей: назначения, эксплуатационные, технологичности, стандартизации, надежности, экономические, экологические, безопасности, эргономические, эстетические, патентной частоты, прочие [2,6,10].



Рис. 2. Группы показателей качества изделий

Показатели надежности определяют важнейшие функциональные свойства технических изделий. Например, у гибких производственных модулей (ГПМ) к ним относятся виды применяемых методов обработки заготовок, их максимальные габариты, мощность электроприводов, точность и жесткость станков (шпинделей, направляющих, суппортов), диапазоны скоростей главного движения и подач, вместимость инструментальных магазинов и др.

Эксплуатационные показатели характеризуют условия окружающей среды, в которой функ-

ционирует техническое изделие (диапазон температур, давлений, влажности, наличие пыли, тумана, ударно-вибрационных воздействий и др.).

Экономические показатели такие как цена, себестоимость, затраты на эксплуатацию и ремонт, во многом определяют конкурентоспособность технических изделий.

Эргономические показатели характеризуют степень соответствия технического изделия требования в системе человек-машина, то есть соответствие антропометрическим и физиологическим данным человека, например, удобство

расположения управления, применение допустимых для человека усилий и др.

Группа показателей надежности характеризует свойство технических изделий сохранять во времени свою работоспособность. К этой группе относятся показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости (рис. 3).



Рис. 3. Показатели надежности изделий

Технологичность – свойство, характеризующее соответствие конструкции технического изделия методам и средствам ее изготовления

применительно к конкретному предприятию. Технологичность технического изделия относится ко всем стадиям производства (получению заготовок, обработке, контролю, испытаниям, ремонту и восстановлению).

К показателям технологичности относятся (рис. 4): трудоемкость θ_m , станкоемкость C_T , коэффициент использования материала $K_{им}$, коэффициент конструктивной преимственности технического изделия $K_{ши}$; технологическая преимственность технического изделия, которая выражается возможностью использования применяемых ранее методов обработки и сборки при изготовлении данного изделия и которая характеризуется показателем $K_{тп}$.

В практике машиностроительных производств при изготовлении технических изделий применяются и другие показатели технологичности. Например, может быть использован коэффициент применения новых и специальных средств технологического оснащения (СТО), а именно станков, инструментов, приспособлений, контрольной оснастки, требующихся для изготовления данного технического изделия [11,12].



Рис. 4. Показатели технологичности изделий

Технологичность изделия является важнейшим критерием, определяющим соответствие технических, технологических и организационно-экономических условий для производства изделия возможностям конкретного предприятия. В условиях рыночной экономики одним из важнейших показателей технологичности является время, затрачиваемое на технологическую подготовку производства (ТПП).

Обработка нового технического изделия на технологичность является одной из важнейших

функций ТПП. Качество изделия определяется конкретными показателями качества (ПК), которые характеризуют те или иные свойства технического изделия. Эти ПК могут быть единичными, групповыми, комплексными (интегрированными).

Интегральные ПК характеризуют изделие одновременно по целому ряду (комплексу) показателей, в том числе разнородных. Например, удобство применения машины по назначению может характеризоваться интегральным ПК и

оцениваться по внеразмерной системе оценок, в частности в баллах. Интегральные ПК часто вычисляют на основании математической теории экспертных систем. При этом используют коэффициент влияния (весомости) K_B конкретных ПК на величину искомого ПК. Так, на интегральный показатель технологичности в наибольшей степени влияет себестоимость технического изделия. Поэтому при оценке интегрированного ПК по параметрам технологичности коэффициент будет наибольшим по сравнению с коэффициентами влияния других показателей. В ряде случаев показатель, характеризующий себестоимость изделия, может быть применен в качестве интегрального показателя технологичности изделия.

Рост технического уровня изделий обуславливает усложнение их конструкций и увеличение требуемых для создания различных видов ресурсов (стоимостных, материальных, трудовых, временных). Стоимостные характеристики являются наиболее общими и при создании различных по служебному назначению технических изделий часто используются как обобщающие критерии для выбора рациональных технических решений при разработке новых конструкций изделий. Тенденция увеличения требуемых стоимостных ресурсов для создания последовательного ряда однотипных технических изделий описывается логистической кривой [1]. Затраты Z_i на разработку новых технических изделий взаимосвязаны с временными ресурсами. Указанная взаимосвязь может быть описана математической моделью следующего вида:

$$Z_i = A_i t^{\alpha_i} e^{-\beta_i t},$$

где Z_i – затраты, соответствующие t -му отрезку времени с начала выполнения работ на i -м этапе разработки нового технического изделия; A_i, α_i, β_i – статистические коэффициенты для i -го этапа разработки нового технического изделия.

Время t входит в данную формулу в относительных величинах $0 < t \leq 1$. Статистические коэффициенты для различных этапов разработки нового изделия различаются.

Общие затраты на создание нового технического изделия зависят как от характера их распределения на каждом этапе разработки, так и от степени совмещения работ на смежных этапах. При значительном совмещении работ возникают дополнительные затраты вследствие

значительного количества различных изменений, которые обусловлены недостаточной степенью проработки конструкторских и технологических решений на предшествующих этапах разработки. Удлинение срока окончания разработки при недостаточном совмещении выполняемых работ, которые относятся к смежным этапам, также вызывает непредвиденные затраты из-за нерациональной загрузки исполнителей и производственных мощностей. Для каждого определенного типа технических изделий имеется интервал степени рационального совмещения работ на смежных этапах разработки нового изделия.

В общем случае любое новое изделие, техническая, управляющая или информационная система создаются для удовлетворения определенных потребностей человека или общества. В частности, технологическая машина или система предназначена для реализации производственных и технологических процессов. Процесс производства основан на принципах рентабельности, прибыльности, конкурентоспособности при достижении требуемого качества, производительности, безопасности, гибкости, стабильности технологических процессов (ТП). Перед началом разработки нового технического изделия необходимо определить область характеристик, которыми оно должно обладать с целью обеспечения требуемой эффективности производственных и технологических процессов. Например, при проектировании новых ГПМ нужно на основе эвристического программирования, физико-математического или функционально-статистического моделирования установить параметрический комплекс показателей, определяющих служебное назначение (область применения, технико-экономические, технологические и другие свойства) данных технических изделий.

Основой для описания служебного назначения технологической системы (ТС) являются характеристики производимых объектов (заготовок, деталей, сборочных единиц, комплектов, комплексов), а именно: номенклатура, объемы выпуска, исполнения и типоразмеры производимой продукции; величины производственных партий; конфигурация, состав и особенности конструкции; физико-механические параметры применяемых материалов; показатели точности поверхностей (допуски, отклонения формы и расположения); характеристики поверхностного слоя (шероховатость, твердость и микро-

твердость, глубина наклепа, величины и типы остаточных напряжений и др.); ритм и такт выпуска производимой продукции.

Перед определением служебного назначения новой машины должны быть разработаны предполагаемые к реализации на технологическом модуле (ТМ) и ТС технологические процессы. На этой основе устанавливаются параметры ТС: конечное множество выполняемых функциональных действий, методы установки и закрепления заготовок, деталей и сборочных единиц с указанием их особенностей; габариты рабочей зоны; количество используемых при обработке позиций; способы и особенности перемещения изготавливаемых изделий от позиции к позиции, порядок загрузки и выгрузки; материалы и габариты заготовок; количество, методы установки и смены технологического оснащения (инструмента, оправок, державок и т. п.); принятая для обработки система координат; направления скорости и ускорения основных и вспомогательных рабочих органов; диапазоны технологических режимов обработки и сборки; технологические нагрузки и энергетические взаимодействия (силы резания, давления, зажима, инерции, мощности приводов и др.); рекомендуемые типы приводов (ручные, электромеханические, магнитные, электромагнитные, гидравлические, пневматические, вакуумные и др.); требуемая точность исполнения базовых элементов ТМ и ТС; требования к безопасности [6].

Следует также определить степень технологической гибкости; уровни автоматизации и методы управления; габаритные и массовые (весовые) характеристики ТМ и ТС; степень технологической и конструктивной преемственности; параметры окружающей среды и методы защиты от ее воздействия; эргономические и другие специальные требования (по консервации, хранению, транспортированию, монтажу, контролю, диагностике состояния, ремонту и др.) [13,14].

Требования к техническим характеристикам нового технического изделия оформляются в виде согласованного между исполнителем и заказчиком и утвержденного технического задания (ТЗ), которое является базовым документом при создании изделия. При формировании ТЗ на новое техническое изделие используют сочетание принципа производственной и технологической преемственности с внедрением самых передовых научно-технических достижений.

Проектирование новейших наукоемких образцов ТС рекомендуется выполнять в несколько стадий, приведенных в ЕСКД (техническое предложение, эскизный, технический и рабочий проекты). Проектирование любого сложного технического изделия ведется методом последовательного приближения с проработкой конкурирующих вариантов. На каждой стадии проектирования уточняют и углубляют представление о техническом изделии, его структуре и параметрах (характеристиках). При этом возрастает степень детализации проекта.

В условиях рыночной экономики и конкуренции имеет место расширяющаяся производственная специализация, что дает возможность повысить качество выпускаемых новых технических изделий, концентрировать накопленный отечественный и зарубежный технический опыт и новейшие технологии. Это позволяет вести проектирование новых ТС и их элементов значительно быстрее и за меньшее число стадий.

В ряде случаев удается выполнять проектирование за одну стадию, то есть осуществляется непосредственное выполнение рабочего проекта.

В процессе выполнения ТПП особое внимание следует уделять важнейшим функциональным параметрам (характеристикам) исполнительных поверхностей машин, которые во многом определяют работоспособность ТМ и ТС, например, точность рабочих перемещений, величины энергозатрат, КПД, долговечность структурных элементов (подшипниковых узлов, зубчатых передач, ходовых винтов, направляющих и т. д.). На параметры исполнительных поверхностей следует обращать наибольшее внимание при отработке нового технического изделия на технологичность и при создании ТП.

Если служебное назначение технического изделия (машины) определяет некоторый показатель качества:

$$Y = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_j, \dots, x_n),$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j, \dots, x_n$ – некоторые геометрические и иные параметры деталей технического изделия, то при переходе к параметрам точности посредством разложения в ряд Тейлора получается следующее выражение:

$$\Delta Y = \partial Y / \partial x_1 \Delta x_1 + \partial Y / \partial x_2 \Delta x_2 + \dots + \partial Y / \partial x_i \Delta x_i + \dots + \partial Y / \partial x_n \Delta x_n, \quad (1)$$

где ΔY – погрешность показателя качества; $\partial Y / \partial x_i$ – некоторое передаточное отношение;

Δx_i – погрешность i -го составляющего параметра.

Для любого технического машиностроительного изделия можно использовать следующие группы показателей качества в их естественном выражении: геометрические в виде линейных и векторных размерных связей, допусков, отклонений формы и расположения поверхностей деталей и сборочных единиц; показатели шероховатости и волнистости поверхностей, механические и прочностные (масса, усилия, напряжения, коэффициенты упругости и пластичности, твердость, ударная вязкость и др.); временные (текущее время, периоды); частотные (частота протекающих процессов, скважинность импульсов); кинематические (величины и направления перемещений, скорости, ускорения); динамические (силы, моменты, напряжения, давления как активные, так и инерционные), виброакустические (интенсивность звуковой волны, амплитуды и спектры колебаний, вибрации и др.).

Часто для представления характеристики технического изделия используются следующие параметры: температурные и тепловые; энергетические, включая показатели мощности; физические (электрические и магнитные и др.); химические; технологические; функциональные; экономические; эргономические; прочие.

Заменяя погрешности Δx_i на величины полей допусков $\Delta \delta_{xi}$, можно определить допуск на вариацию показателя качества $\Delta \delta_y$. При рассмотрении всех показателей качества можно получить совокупность, то есть математическую систему размерных, а в более общем случае – систему параметрических связей типа выражения (1). В процессе комплексного параметрического и размерного анализа устанавливаются допуски на систему параметрических и размерных связей каждой из исполнительных поверхностей деталей технического изделия. В период ТПП обеспечивается исполнение всех требуемых параметров точности машины, которые реализуются при производстве, контроле и испытаниях технических изделий.

Любая погрешность Δx_i при производстве, испытаниях и эксплуатации технических изделий, возникающая под действием механических, физических, химических, структурно-фазовых факторов претерпевает изменения. В общем случае погрешности классифицируют на статические Δx_{ic} и динамические $\Delta x_{ид}$, которые можно представить в виде суммы $\Delta x_i = \Delta x_{ic} + \Delta x_{ид}$.

Под статическими погрешностями понимают погрешности, возникающие до начала работы технического изделия. Например, для ТМ и ТС к ним можно отнести производственные погрешности $\Delta x_{icп}$ и погрешности статистической настройки инструмента относительно поверхностей, на которые производится установка заготовок перед началом обработки $\Delta x_{icн}$; $\Delta x_{ic} = \Delta x_{icп} + \Delta x_{icн}$, причем статические погрешности могут зависеть от положения рабочего органа в системе координат X, Y, Z то есть $\Delta x_{ic} = F(X, Y, Z)$.

Динамические погрешности $\Delta x_{ид}$ зависят от режима работы технического изделия $\Delta x_{ид}(P)$ (упругопластические и температурные деформации, колебания, вибрации) и от времени эксплуатации изделия $\Delta x_{ид}(t)$ (износ, ползучесть, релаксация напряжений и др.) $\Delta x_{ид} = \Delta x_{ид}(P) + \Delta x_{ид}(t)$.

Точный учет всех факторов практически не представляется возможным. Поэтому в наиболее общем случае они описываются с использованием вероятностных характеристик случайных функций (процессов). При этом любая погрешность будет иметь систематическую и случайную составляющие.

В процессе отработки конструкций нового технического изделия на технологичность в него необходимо заложить свойства, способствующие высококачественному изготовлению при обеспечении условий рационального использования различных видов ресурсов. Это обеспечивается в основном установлением соответствия между конструкцией технологического изделия и производственными условиями его изготовления, а также обоснованным применением материалов и рациональной преемственностью конструктивно-технических решений.

Требование высококачественного изготовления постоянно усложняющихся конструкций технических изделий обуславливает необходимость совершенствования производства. Основными направлениями работ, обеспечивающих рост технического уровня основного и ремонтного производства, являются: замена морально устаревшего и физически изношенного оборудования; модернизация конструкции используемого технологического оборудования [5]; повышение уровня автоматизации и механизации производственных процессов [15,16]; внедрение более прогрессивных и совершенств-

зование действующих ТП [17,18]; увеличение области использования принципов унификации и стандартизации [19,20]; внедрение мероприятий, способствующих повышению качества выполняемых работ [21]; совершенствование применяемого инструмента [22,23] и технологической оснастки [24]; внедрение систем диагностики оборудования и инструмента [25]; совершенствование систем управления [26].

Организационный уровень производства повышается главным образом за счет расширения и улучшения специализации, применения прогрессивных поточных форм организации производства и групповых методов изготовления технических изделий, использования автоматизированных систем управления. Мероприятия по повышению технического и организационного уровней производства взаимно дополняют друг друга и обеспечивают изготовление технических изделий высокого качества, отвечающих требованиям научно-технического прогресса.

Общее количество мероприятий по повышению технического уровня производства в процессе ТПП распределяется неравномерно. Неодинакова также их эффективность применительно к различным видам производства. Потребности в повышении технического и организационного уровней производства на конкретном предприятии определяются их исходными значениями и различием технических характеристик нового изделия и ранее изготовленных конструкций. Наиболее эффективными являются мероприятия по совершенствованию сборочного, механообрабатывающего и ремонтного производства.

Совершенствование производства требует больших единовременных затрат, которые входят в качестве составной части в общий объем стоимостных ресурсов, необходимых для производства нового технического изделия. Затраты, которые необходимы для совершенствования производства, должны быть компенсированы за счет повышения его эффективности (снижение трудоемкости и себестоимости продукции, сокращение расходов материалов, рост производительности труда). Часть мероприятий обеспечивает сокращение затрат и сроков на изготовление изделий, а также улучшение технико-экономических показателей производства. Это мероприятия по повышению организационного уровня производства и ряд мероприятий по повышению его технического уровня [3].

Объем и стоимость работ по обеспечению качественного производства новых технических изделий в значительной мере определяется конструктивно-технологической преемственностью новых разработок по сравнению с ранее изготавливаемыми изделиями. При условии конструкции, которое обусловлено улучшением технических характеристик нового изделия по сравнению с изделием-аналогом, значительно возрастает потребность в использовании новых ТП, более совершенного оборудования и технологической оснастки (станков с ЧПУ, ГПМ, робототехнических систем). Мероприятия по внедрению в производство при изготовлении новых технических изделий прогрессивных технологий можно укрупнено классифицировать по следующим основным направлениям: 1) разработка новых ТП и внедрение в производство эффективных технологий путем замены существующих процессов формообразования деталей более производительными, а также обеспечивающими сокращение материалов и расхода энергетических ресурсов; 2) совершенствование ТП в рамках определенного вида обработки [27]. Применение вместо механической обработки резанием литья, штамповки, электрофизических и электрохимических методов обработки обеспечивает значительную экономию материальных ресурсов. Определяющим фактором выбора вида ТП является вид используемой заготовки, который выбирается при отработке нового технического изделия на технологичность. Вид заготовки зависит от условий эксплуатации детали, ее конфигурации, прочностных характеристик материала, а также условий производства. Существенное сокращение расхода материалов обеспечивается при использовании специальных профилей, изготовление которых экономически оправдано при достаточной серийности производства [28,29].

Ужесточение требований к качеству выпускаемой продукции приводит к увеличению на предприятии удельного веса более совершенного и дорогостоящего оборудования. В связи с этим повышается важность решения вопросов его эффективного использования. На эффективность использования технологического оборудования существенное влияние оказывают коэффициенты его загрузки и сменности, а также соответствие между точностными характеристиками оборудования и требованиями к качеству обрабатываемых поверхностей детали.

Помимо этого должно обеспечиваться наиболее полное использование оборудования по его мощности. Кроме технических решений повышению эффективности технологического оборудования способствуют также мероприятия по повышению организационного уровня производства. В частности, эффективность производства повышается за счет использования различных форм его специализации, например, групповых форм организации труда.

Значительное влияние на требуемый технический уровень производства оказывают конструктивно-технологические особенности изготавливаемых технических изделий. Один и тот же технический уровень производства может быть достаточным для одних типов изделий и недостаточным для других изделий или отдельных конструкций. Сложность конфигурации и пространственных форм, незначительная жесткость элементов конструкции технического изделия, широкая номенклатура используемых типоразмеров деталей, материалов и их сортментов, использование труднообрабатываемых материалов, высокие требования к точности и надежности выходных параметров – все эти факторы обуславливают потребность в более высоком уровне производства. Поэтому ТПП для изготовления новых технических изделий требует дополнительных затрат материальных, трудовых, временных и стоимостных ресурсов. Один из них, как правило, является определяющим.

Увеличение сроков ТПП сокращает период времени применения по назначению технических изделий новой конструкции. Постоянное расширение технических возможностей создания более совершенных технических изделий, тенденция роста срока их разработки и ТПП для качественного их производства – все эти причины повышают значимость фактора морального старения конструкции технических изделий. Данный фактор при современных темпах научно-технического прогресса объясняет более частую смену объектов производства. Изменение номенклатуры технических изделий имеет более высокие темпы по сравнению с темпами роста количества промышленных предприятий. Поэтому сохраняется значительное их количество с большой номенклатурой выпускаемой продукции мелкосерийным характером производства. Частая смена объектов производства и указанный характер производства определяют незначительное

применение в ТП обоснованных норм. При значительном количестве используемых в конструкциях видов материалов и их сортментов увеличивается номенклатура применяемого режущего инструмента, технологической оснастки, усложняется организация ресурсного снабжения производства и повышается потребность в складских помещениях.

Негативным фактором при внедрении более совершенных ТП является наличие значительного количества отклонений от нормального хода ТП, которые обусловлены: отклонениями в конструкциях технических изделий; ошибками инженерно-технических расчетов; недостатками в организации производства; внедрением более совершенных методов изготовления изделий.

Изменение конструкций технических изделий связано с их последующей модернизацией и доработками для повышения надежности и улучшения значений технических характеристик. Объем доработок особенно значителен в тех видах технических изделий, к которым предъявляются наиболее высокие требования.

Мероприятия по организационно-техническому совершенствованию производства используются не в полной мере своих потенциальных возможностей из-за различных причин. Существенными ограничениями более полного использования потенциала этих мероприятий являются производственные условия, которые сложились на большом количестве машиностроительных предприятий, и особенности конструктивного исполнения постоянно усложняющихся технических изделий. Поэтому в настоящих условиях создания новых технических изделий нужно уделять больше внимания вопросам технологичности конструкций, которые решают задачу установления рациональной взаимосвязи между применяемыми техническими решениями и возможностями материально-технической базы предприятия.

Применение гибких автоматизированных производств обработки и сборки в условиях мелкосерийного и многономенклатурного производства сложных технических изделий позволяет в 3–4 раза увеличить производительность труда, повысить до 0,95 коэффициент загрузки оборудования, в 1,5–2,0 раза сократить производственные площади, в 5–6 раз уменьшить потребность в рабочей силе, повысить качество продукции и культуру производства [30].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саркисян, С. А. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Минаев. – М.: Наука, 1977. – 350 с.
2. Никифоров, А. Д. Теоретические основы прогнозирования в технике и технологии / А. Д. Никифоров, А. Н. Ковшов, А. Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2010. – 519 с.
3. Кононенко, В. Г. Оценка технологичности и унификации машин / В. Г. Кононенко, С. Г. Кушнарченко, М. А. Прялин. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.
4. Цветков, А. Г. Принципы оценки эффективности радио-электронных средств / А. Г. Цветков. – М.: Советское радио, 1971. – 201 с.
5. Григорьев, С. Н. Решение задач технического перевооружения машиностроения / С. Н. Григорьев. – М.: вестник МГТУ «СТАНКИН», 2008. – № 3.
6. Скворцов, А. В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2010. – 589 с.
7. Никифоров, А. Д. Управление качеством / А. Д. Никифоров, А. Г. Схиртладзе. – М.: Студент, 2011. – 717 с.
8. Поспелов, Д. Р. О показателях технического (техно-экономического) уровня ДВС / Д. Р. Поспелов // Тракторы и сельхозмашины № 4, 1982. – М.: Машиностроение.
9. Победин, А. В. Технология тракторостроения / А. В. Победин [и др.]. – Волгоград: ИУНЛ Волг ГТУ, 2011. – 476 с.
10. Бочкарев, С. В. Управление качеством / С. В. Бочкарев, А. Б. Петрович, А. Г. Схиртладзе. – Пермь: Изд. Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2011. – 439 с.
11. Схиртладзе, А. Г. Проектирование нестандартного оборудования / А. Г. Схиртладзе, С. Г. Якушин. – М.: Новое знание, 2006. – 424 с.
12. Григорьев, С. Н. Методы осаждения износостойких нанопокровов в инструментальном производстве / С. Н. Григорьев // Металлургия машиностроения № 1, 2011. – М.: Машиностроение.
13. Схиртладзе, А. Г. Автоматизация технологических процессов и производств / А. Г. Схиртладзе, А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. – М.: Абрис, 2012. – 565 с.
14. Капустин, Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2007. – 415 с.
15. Схиртладзе, А. Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / А. Г. Схиртладзе, В. Н. Воронов, В. П. Борискин. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2011. – 612 с.
16. Схиртладзе, А. Г. Технологические процессы автоматизированного производства / А. Г. Схиртладзе, А. В. Скворцов. – М.: Изд. центр. Академия, 2011. – 400 с.
17. Богодухов, С. Н. Технологические процессы в машиностроении / С. Н. Богодухов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
18. Схиртладзе, А. Г. Технологические процессы в машиностроении / А. Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2007. – 927 с.
19. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – М.: Юрант, 2012. – 813 с.
20. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2010. – 791 с.
21. Ревенко, Н. Ф. Организация производства и менеджмент в машиностроении / Н. Ф. Ревенко [и др.]. – М.: Высш. шк., 2010. – 552 с.
22. Григорьев, С. Н. Инженерия поверхности металлорежущего инструмента методом комбинированной вакуумно-плазменной обработки / С. Н. Григорьев, М. А. Волосова // Ремонт, восстановление, модернизация № 8, 2004. – М.: ООО «Наука и технологии».
23. Гречишников, В. А. Формообразующие инструменты машиностроительных производств / В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2008. – 432 с.
24. Схиртладзе, А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств / А. Г. Схиртладзе, С. Н. Григорьев, В. П. Борискин. – Старый Оскол: ООО «ТНТ». – Т. 5. – 2011. – 572 с.; Т. 6. – 2012. – 452 с.
25. Юркевич, В. В. Испытания, контроль и диагностика металлообрабатывающих станков / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. – Старый Оскол: ООО «ТНТ». – 2006. – 552 с.
26. Смоленцев, В. П. Управление системами и процессами / В. П. Смоленцев, В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе. – М.: Изд. Центр «Академия», 2010. – 336 с.
27. Никифоров, А. Д. Высокие технологии размерной обработки в машиностроении / А. Д. Никифоров [и др.]. – М.: Высш. шк., 2007. – 327 с.
28. Богодухов, С. И. Основы проектирования заготовок в автоматизированном машиностроении / С. И. Богодухов [и др.]. – М.: Машиностроение. – 2009. – 432 с.
29. Схиртладзе, А. Г. Проектирование и производство заготовок / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин, А. В. Макаров. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2010. – 448 с.
30. Схиртладзе, А. Г. Проектирование производственных систем в машиностроении / А. Г. Схиртладзе, В. П. Вороненко, В. П. Борискин. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2011. – 432 с.

УДК 621.9.015 : 658.512

Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов, Ю. Н. Орлова

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vsti.ru

Выполнена оценка применимости справочных данных для формализованного проектирования последовательности механической обработки наружных цилиндрических поверхностей.

Ключевые слова: технологическое проектирование, последовательность механической обработки, качество, ориентированный граф, вероятностная таблица точности.

Evaluation of the applicability of the reference data for the formal design of the sequence of mechanical processing of outward cylindrical surfaces.

Keywords: technological design, consistency of machining, quality, oriented graph, probabilistic table accuracy.

В данной работе мы обсуждаем проблемы формализации задач маршрутного технологического проектирования, связанные с неоднородностью и малой надежностью справочных данных. В качестве примера рассмотрим проектирование последовательности механической обработки наружной цилиндрической поверхности. Для большей ясности ограничим перечень возможных технологических методов обработкой с использованием лезвийного (точение) и связанного абразивного (обработка на кругло-шлифовальных станках) инструмента.

Точность обработки оцениваем по номеру качества точности (*IT*), качество обработанной поверхности – по величине среднего арифметического отклонения профиля *Ra*. В соответствии с ранее сформулированными допущениями [1, 9] параметр точности представляет собой дискретную, а параметр качества – непрерывную – случайные величины. Данные для статистического анализа в соответствии с авторской методикой [1, 2, 7, 9] взяты из наиболее распространенных справочных источников и современных монографических изданий:

1. Балабанов, А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 464 с.

2. Данилевский, В. В. Справочник молодого машиностроителя / В. В. Данилевский. – М.: Высшая школа, 1973. – 648 с.

3. Справочник технолога машиностроителя.

В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. – 496 с.

4. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

5. Федотиков, А. П. Краткий справочник технолога машиностроителя / А. П. Федотиков. – М.: Оборонгиз, 1960. – 405 с.

6. Харламов, Г. А. Припуски на механическую обработку : справочник / Г. А. Харламов, А. С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.

7. Чудаков, Е. А. (гл. ред.). Машиностроение. Энциклопедический справочник в 15 т. Т. 7. Технология производства машин / Е. А. Чудаков. – М.: Машгиз, 1948. – 708 с.

8. Шамин, В. Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей / В. Ю. Шамин. – 4-е изд., перер. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 530 с.

Ранее [7] мы обосновали тезис о частичной неприменимости теоретико-множественных методов для анализа справочной информации технологического назначения. Значения границ технологических допусков для рассматриваемых методов обработки, определенные с применением методов теории множеств [2, 9] и с использованием понятия «функция принадлежности» [7], приведены в табл. 1...4. В графе «Издание» даны порядковые номера справочных пособий, рассматриваемых в настоящей работе.

Таблица 1

Обобщенные данные по величине среднего арифметического отклонения профиля *Ra*, мкм (лезвийная обработка)

Издание	Значения параметра <i>Ra</i> для точения											
	чернового			получистового			чистового			тонкого (алмазного)		
	min	max	средн	min	max	средн	min	max	средн	min	max	средн
	Предельные значения (логическое объединение границ допусков)											
	6,30	100,00	53,15	1,60	25,00	13,30	0,40	25,00	12,70	0,20	1,60	0,90
	Обобщенные данные с учетом вероятностной функции принадлежности											
	10,00	63,00	36,50	4,00	16,00	10,00	0,80	6,30	3,55	0,32	1,00	0,66
1	25,00	100,00	62,50	6,30	12,50	9,40	1,60	3,20	2,40	0,40	0,80	0,60
2	–	–	–	5,00	10,00	7,50	1,25	5,00	3,13	0,32	0,63	0,48
3	6,30	50,00	28,15	1,60	25,00	13,30	0,40	6,30	3,35	0,20	1,60	0,90
4	12,00	40,00	26,00	2,00	16,00	9,00	0,80	2,50	1,65	–	–	–
5	–	–	–	5,00	10,00	7,50	1,25	5,00	3,13	0,63	0,63	0,63
6	6,30	50,00	28,15	1,60	25,00	13,30	0,40	6,30	3,35	0,20	1,60	0,90
7	6,30	100,00	53,15	–	–	–	0,80	25,00	12,90	0,20	1,60	0,90
8	–	–	–	10,00	20,00	15,00	1,25	2,50	1,88	–	–	–

Таблица 2

**Обобщенные данные по величине среднего арифметического отклонения профиля Ra, мкм
(абразивная обработка)**

Издание	Значения параметра Ra для шлифования круглого								
	получистового			чистового			тонкого		
	min	max	средн	min	max	средн	min	max	средн
	Предельные значения (логическое объединение границ допусков)								
	0,40	6,30	3,35	0,08	3,20	1,64	0,02	1,60	0,81
	Обобщенные данные с учетом вероятностной функции принадлежности								
	1,00	3,20	2,10	0,20	1,60	0,90	0,08	0,50	0,29
1	3,20	6,30	4,75	0,80	1,60	1,20	0,20	0,40	0,30
2	–	–	–	0,16	2,50	1,33	0,04	0,08	0,06
3	0,40	6,30	3,35	0,20	3,20	1,70	0,10	1,60	0,85
4	1,00	2,50	1,75	0,20	1,25	0,73	0,05	0,25	0,15
5	–	–	–	0,16	2,50	1,33	0,08	0,08	0,08
6	–	–	–	0,20	3,20	1,70	0,10	1,60	0,85
7	0,80	1,60	1,20	0,20	0,80	0,50	0,10	0,40	0,25
8	0,40	2,50	1,45	0,08	0,16	0,12	0,02	0,04	0,03

Таблица 3

Обобщенные данные по параметру точности (лезвийная обработка)

Издание	Значения параметра IT для точения											
	чернового			получистового			чистового			тонкого (алмазного)		
	min	max	средн	min	max	средн	min	max	средн	min	max	средн
	Предельные значения (логическое объединение границ допусков)											
	12	17	14,5	10	14	12,0	6	12	9,0	5	9	7,0
	Обобщенные данные с учетом вероятностной функции принадлежности											
	12	14	13,0	11	13	12,0	7	10	8,5	5	7	6,0
1	15	17	16,0	12	14	13,0	7	9	8,0	6	6	6,0
2	–	–	–	12	14	13,0	6	12	9,0	5	6	5,5
3	12	14	13,0	11	13	12,0	8	10	9,0	6	9	7,5
4	12	14	13,0	10	12	11,0	8	10	9,0	–	–	–
5	14	14	14,0	12	14	13,0	6	12	9,0	6	8	7,0
6	12	14	13,0	11	13	12,0	8	10	9,0	6	9	7,5
7	12	14	13,0	–	–	–	10	12	11,0	–	–	–
8	–	–	–	12	13	12,5	10	11	10,5	–	–	–

Сравнивая справочные данные с границами обобщенных технологических допусков, построенных с учетом вероятностной функции принадлежности [7], можно сделать вывод о существенной неоднородности справочных данных, на основании которых построено большинство типовых технологических процессов – расхождение значений относительно обобщенных данных достигает 40...150 % для параметра качества обработанной поверхности и 20...50 % – для параметра точности обработ-

ки. Данные для шлифования отличаются меньшей, по сравнению с точением, однородностью. Средние и суммарные погрешности значений показателя точности обработки существенно (в 1,5...2,2 раза) меньше аналогичных погрешностей параметра качества поверхности, что можно считать косвенным подтверждением выраженного стохастического характера процесса формирования качества поверхности, в особенности в результате абразивной обработки.

Таблица 4

Обобщенные данные по параметру точности (абразивная обработка)

Издание	Значения параметра IT для шлифования круглого								
	получистового			чистового			тонкого		
	min	max	средн	min	max	средн	min	max	средн
	Предельные значения (логическое объединение границ допусков)								
	8	11	9,5	6	11	8,5	5	9	7,0
	Обобщенные данные с учетом вероятностной функции принадлежности								
	8	10	9,0	7	8	7,5	5	6	5,5
1	8	11	9,5	6	8	7,0	5	5	5,0
2				10	11	10,5	5	9	7,0
3	8	9	8,5	6	7	6,5	5	6	5,5
4	8	9	8,5	6	7	6,5	5	6	5,5
5	8	11	9,5	10	11	10,5	6	9	7,5
6	–	–	–	7	7	7,0	5	6	5,5
7	9	11	10,0	7	9	8,0	6	7	6,5
8	9	10	9,5	6	7	6,5	5	6	5,5

В целом, границы технологических допусков, рассчитанные с учетом вероятностной функции принадлежности [7], можно считать надежными [1, 9], с вероятностью не менее 99,987 %. Оценка надежности выполняется по величине коэффициента вариации.

Невозможность формализованного построения последовательности обработки определяется [3, 4, 5] двумя основными причинами: отсутствием достоверной справочной информации и отсутствием структуры данных, позволяющей применить для решения задачи математические методы. Рассмотрим возможность формализованного решения задачи, полагая исходные данные достаточно надежными. Существующую проблему можно решить путем представления технологического процесса в виде структурно-временной таблицы или, после соответствующих преобразований [6], матрицы инцидентности ориентированного графа обработки. Применение структуры данных, относящейся к дискретной математике, позволяет свести описание процесса формирования качества обрабатываемого изделия к задаче линейного программирования.

Рассмотрим конкретный пример обработки наружной цилиндрической поверхности, выполненной по 6-му качеству точности с величиной среднего арифметического отклонения профиля $Ra = 0,63$ мкм. В соответствии с таблицами точности (табл. 1...4) можно формально составить несколько различных маршрутов

обработки данной поверхности, которые изображены в виде сетевой модели обработки (рис. 1).

Следуя формальным правилам построения последовательности обработки, в рассматриваемом примере можно составить более 10 вариантов последовательности обработки, включающих рассматриваемые в настоящей работе технологические методы. Учитывая, что реальное количество методов обработки больше анализируемого нами перечня, количество возможных вариантов решения задачи также существенно возрастает.

Следует учитывать, что простой перебор возможных вариантов обхода графа обработки в результате может дать формально различные, но фактически повторяющиеся решения задачи. Эта особенность связана с тем, что ряд технологических методов обеспечивает практически одинаковые (рис. 2) технологические допуски. Уменьшить количество возможных вариантов можно при условии, что расчет проводится с учетом величин изменения [8, 10] технологических параметров методов обработки.

Для расчета величин изменения показателей качества в процессе обработки мы предлагаем использовать методы математической статистики. Величина изменения технологического показателя может быть определена как разность (для дискретных случайных величин, например показатель IT) или отношение (для непрерывных случайных величин, например па-

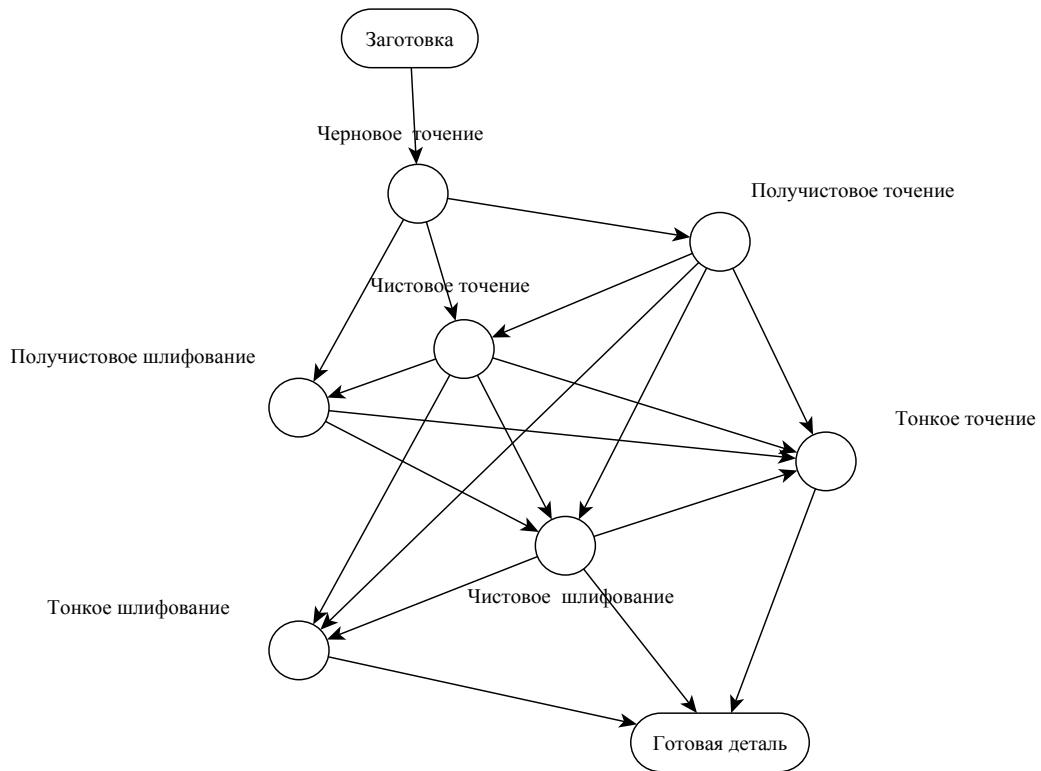


Рис. 1. Формальная схема последовательности обработки

Ra, мкм	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	IT
40,00	1	2				1	1				
20,00						1	1				
10,00						1	1				
5,00						2	12	1			
2,50						2	2				
1,25						2	2				
0,63					3	3	3				
0,32					3	35	35	5			
0,16					3	35	35	5			
0,08					36	35	35	5			
	4	4	346	345	5	5					
	4	4	46	4							
	4	4	46	4							
	47	47	467	47							
	7	7	67	7							
	7	7	7	7							
	7	7	7	7							
	7	7	7	7							

Рис. 2. Схема расположения технологических допусков

параметр шероховатости Ra) средних значений технологических допусков двух смежных в технологической последовательности методов обработки. Учитывая стохастический характер процессов механической обработки, необходимо, кроме расчета собственно величины изменения технологического показателя, оценивать еще и достоверность этого изменения. Смежные

методы, для которых изменение технологического показателя несущественно мало, либо недостоверно, будем считать сходными, то есть формируемыми одинаковыми свойствами обрабатываемой поверхности. Следовательно, появляется формальный признак, позволяющий исключать фрагменты цепочек, не изменяющие технологических показателей из множества вариантов технологических последовательностей. Кроме того, количественная оценка достоверности изменения технологического показателя в процессе обработки может рассматриваться в качестве критерия оптимизации при поиске путей в графе обработки. Таким образом, оптимальным вариантом обработки признается та технологическая цепочка, для которой выше вероятность получения требуемых показателей точности.

В качестве примера информационного массива, включающего величины изменения технологических показателей, можно назвать вероятностные таблицы (табл. 5) точности обработки.

Выше главной диагонали расположены значения величин изменения показателей точности и качества поверхности в результате обработки, ниже главной диагонали – достоверность изменения (вероятность получения заданного результата).

Таблица 5

Повышение точности и качества при многостадийной обработке

	Предыдущий этап обработки	Повышение точности (разность)						Повышение качества (отношение)					
		Следующий этап обработки						Следующий этап обработки					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Черновая		1,5	4,5	6,0	6,7	7,2		3,4	14,6	32,8	62,5	164,1
2	Получистовая	1,0		3,0	4,5	5,2	5,7	1,0		4,3	9,7	18,5	48,4
3	Чистовая	1,0	1,0		1,5	2,2	2,7	1,0	1,0		2,3	4,3	11,3
4	Тонкая	1,0	1,0	1,0		0,7	1,2	1,0	1,0	0,97		1,9	5,0
5	Отделочная	1,0	1,0	1,0	0,93		0,5	1,0	1,0	1,0	0,95		2,6
6	Доводочная	1,0	1,0	1,0	1,0	0,71		1,0	1,0	1,0	1,0	0,96	

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, приблизительно соответствующие общепринятым представлениям о структуре технологического процесса.

Выводы:

1. Использование вероятностных таблиц точности в качестве информационного обеспечения технологического проектирования позволяет использовать математические методы теории графов для формализации решения задач построения последовательности обработки.

2. Для повышения достоверности технологического проектирования необходимо повысить надежность исходных данных – сведений о технологических возможностях методов механической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чигиринская, Н. В. Методика статистического оценивания надежности процесса / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 53–57.

2. Чигиринский, Ю. Л. Анализ границ диапазонов достижимых значений параметров качества и точности механической обработки / Ю. Л. Чигиринский // Инновации в машиностроении : матер. I Междунар. науч.-практ. конф. (7–9 окт. 2010 г.) : межвуз. сб. / Бийский технол. ин-т (филиал) Алтайского гос. техн. ун-та им. И. И. Ползунова [и др.]. – Бийск, 2010. – С. 21–25.

3. Чигиринский, Ю. Л. Анализ задач технологической подготовки производства и выбор математических методов и средств их решения / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 1). – С. 62–64.

4. Чигиринский, Ю. Л. Возможность автоматизированного построения маршрутного технологического процесса / Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 65–68.

5. Чигиринский, Ю. Л. Возможность формализованного решения задач технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2009. – № 12. – С. 26–29.

6. Чигиринский, Ю. Л. Математические методы управления процессами механической обработки : монография / Ю. Л. Чигиринский; ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 139 с.

7. Чигиринский, Ю. Л. Методика повышения надежности справочных данных / Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 55–61.

8. Чигиринский, Ю. Л. Методы дискретной математики в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский, Н. Д. Гожева, Е. Г. Радченко // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. тр. № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 3). – С. 112–114.

9. Чигиринский, Ю. Л. Надежность справочных данных, применяемых в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский // Известия ОрелГТУ. (Сер. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»). – 2009. – № 2–2/274(560). – С. 103–108.

10. Чигиринский, Ю. Л. Подход к формализации индивидуального маршрутного проектирования / Ю. Л. Чигиринский, С. А. Соловьева, Р. Е. Бехтер // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 581–584.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.9

А. Г. Алехин, С. Г. Тюленев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ПАКЕТЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ MATLAB

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Рассмотрен метод моделирования производственных систем дискретного типа в пакете прикладных программ *MatLab*. Проведено моделирование ГПС производства корпусных деталей с дисциплинами обслуживания LIFO и FIFO.

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, производственная система дискретного типа, дисциплины обслуживания, *MatLab SimEvents*.

Method of modeling industrial systems of discrete type in the application program *MatLab* is studied in the article. There is a modeling of Flexible Manufacturing Systems of production of nonrotational parts with service discipline LIFO and FIFO.

Keywords: discrete-event modeling, industrial systems of discrete type, service discipline in queuing systems, *MatLab SimEvents*.

Задача управления гибкими производственными системами (ГПС) является актуальной ввиду ряда факторов. Мелкосерийное производство и работа по единичным заказам становится характерной чертой современных Машиностроительных предприятий. Использование производственного оборудования с числовым программным управлением и компьютерное управление комплексами технологического и сервисного оборудования позволяют организовать выпуск продукции от одного изделия и в сроки, устраивающие потребителей. Но появляется необходимость постоянно переналаживать производственные системы на изготовление новых видов продукции [1].

Реальная производственная система работает в условиях внешних и внутренних возмущений, таких как изменение портфеля заказов и неисправность оборудования. В свою очередь это приводит к рассогласованности работы оборудования, следовательно, алгоритмы управления должны обладать некоторой степенью устойчивости.

В настоящий момент разработано большое количество алгоритмов управления ГПС (генераторы расписаний, работа по приоритетам, эвристические алгоритмы, жадные алгоритмы и т. д.). При этом существует проблема устойчивости данных алгоритмов управления в ре-

альных производственных условиях. Как решение данной проблемы нами предложена методика создания модели производственной системы в пакете прикладных программ *MatLab*, которая будет использоваться для имитации и отладки алгоритмов управления ГПС.

В качестве примера рассмотрена ГПС АЛП-3.2 (рис. 1), предназначенная для механической обработки корпусных деталей [2].

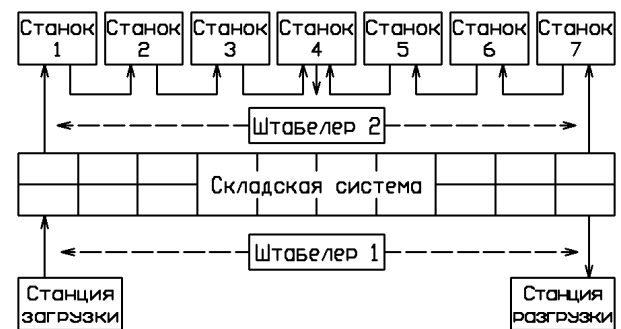


Рис. 1. Схема компоновки ГПС АЛП-3.2

Данная ГПС включает семь специализированных многооперационных станков с ЧПУ с автоматической сменой инструментов, складскую систему, обслуживаемую двумя штабелерами для координации связей между станками, станцию загрузки заготовок и разгрузки деталей.

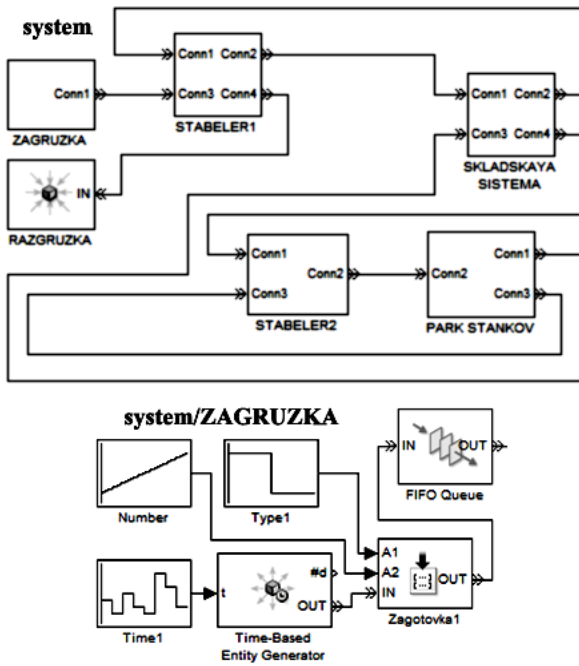


Рис. 2. Модель ГПС в пакете MatLab

На рис. 2 представлена модель данной ГПС в программе MatLab.

Каждая часть реальной ГПС представлена подсистемой. Каждая подсистема включает в себя определенным образом связанные блоки компонента SimEvents. На основе блоков строится дискретно-событийная логика каждого элемента системы [3].

Любые параметры системы непосредственно или функционально задаются пользователем в виде векторов, матриц и переменных. Достоинством данной программы является простота смены дисциплин обслуживания элементов очереди. При реализации модели ГПС в пакете MatLab рассмотрены алгоритмы управления FIFO и LIFO [4].

Результаты моделирования отражены на графиках (рис. 3), которые позволяют оценить влияние настроек системы на производительность ГПС.

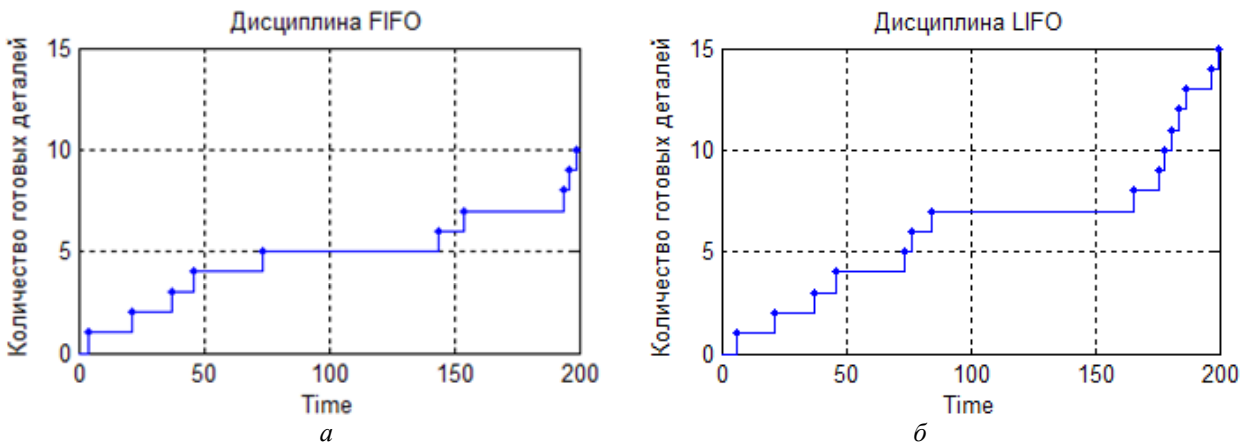


Рис. 3. Графики, демонстрирующие поведение модели системы при различных параметрах настройки: а – FIFO; б – LIFO

Разработанная модель позволяет изменять параметры быстродействия отдельных частей системы, менять дисциплины обслуживания и имитировать отказ оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнипаева, А. А. Синтез производственных расписаний в АСУП с использованием генетических алгоритмов: автореф. дис. канд. техн. наук / А. А. Корнипаева. –

Оренбург, 2011. – 16 с.
 2. Хватов, Б. Н. Гибкие производственные системы. Расчет и проектирование: учеб. пособие / Б. Н. Хватов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 112 с.
 3. Banks, Jerry, John Carlson, and Barry Nelson. Discrete-Event System Simulation, Second Ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, 1996. R2011b Documentation SimEvents [Электронный ресурс]. URL:
 4. http://www.mathworks.com/help/toolbox/simevents/gsgs_intropage.html (дата обращения: 05.12.2011).

УДК 620.165.29

*Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов, В. А. Бессалов***РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ГАЗОВОЙ АППАРАТУРЫ
НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Приведены рекомендации по проектированию автоматизированного оборудования для контроля герметичности различных типов газовой аппаратуры. Предложен алгоритм, определяющий основные этапы проектирования соответствующего основного и вспомогательного оборудования, выбор системы управления, а также вопросы выбора уровня автоматизации и переналаживаемости проектируемого устройства.

Ключевые слова: испытание на герметичность, газовая аппаратура.

Recommendation on automated equipment design for hermeticity control of different types of gas apparatus are given. Algorithm for definition of main stages of basic and utility equipment design, control system choice and questions of designed device automation and realign level choice is proposed.

Keywords: hermeticity test, gas apparatus.

При создании автоматизированных средств контроля герметичности газовой аппаратуры возникает ряд особенностей, обусловленных типом и точностными характеристиками применяемых датчиков герметичности, характером производства изделий – объектов испытания и их конструкцией, техническими условиями на контроль, требуемым уровнем автоматизации, переналадки, производительности.

Проведенные исследования позволили разработать рекомендации (представлены в виде алгоритма, изображенного на рисунке) по созданию автоматизированного оборудования для контроля герметичности на этапе его технического проектирования. Проектирование данного оборудования представляет задачу, которую целесообразно решать итерационным путем, поэтому первый проход алгоритма от начала до конца можно осуществлять приближенно, формулируя вопросы и данные, которые необходимы для принятия рационального решения на последующих итерациях.

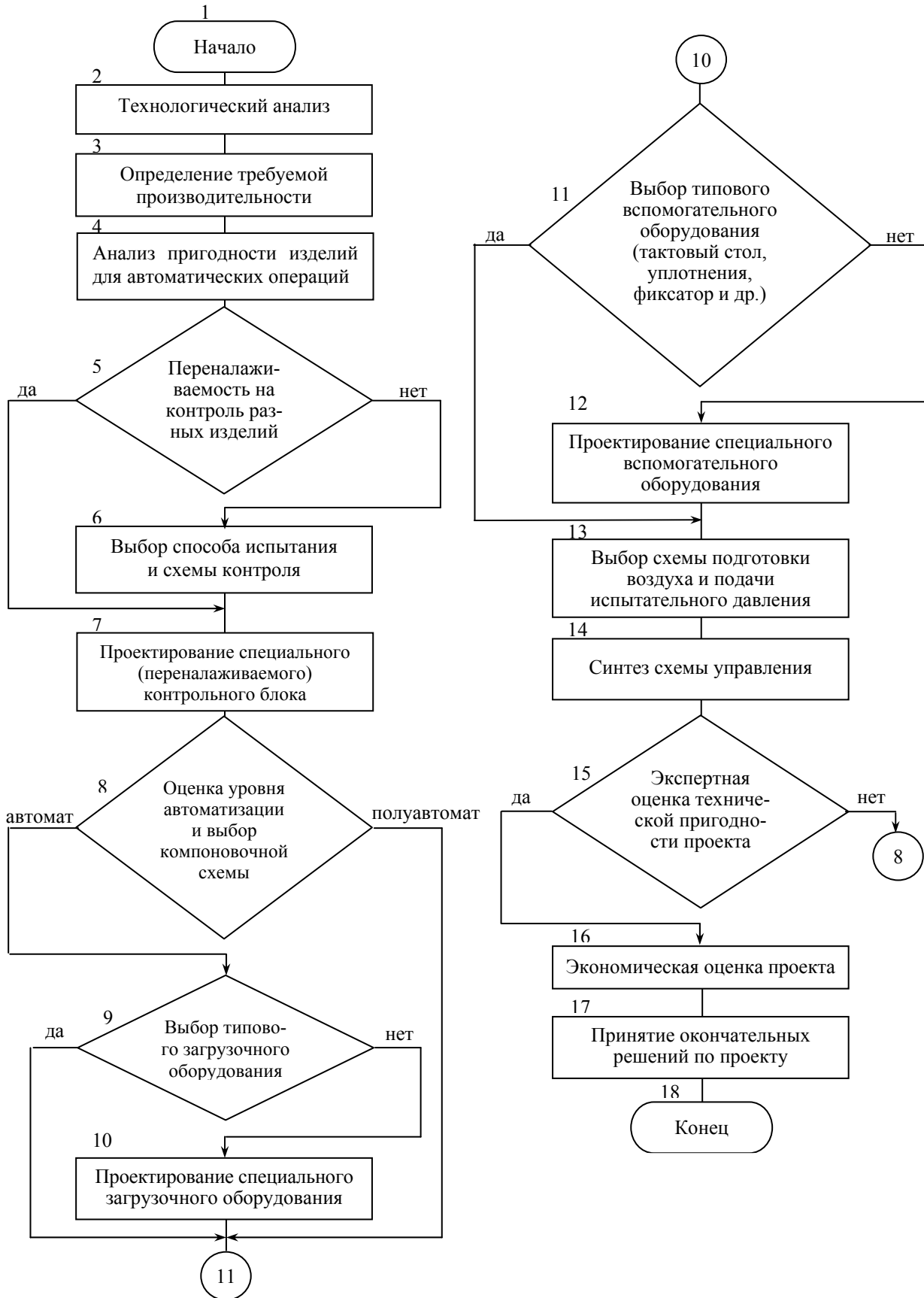
Рассмотрим основные этапы технического проектирования автоматизированного оборудования для контроля герметичности.

На первом этапе осуществляется технологический анализ номенклатуры и объема партии изделий. При этом следует учитывать, что количество изделий в партии должно быть достаточно большим, чтобы обеспечить необходимую загрузку проектируемого контрольного оборудования без его переналадки. Если производство многономенклатурное, а объем партии мал, то рекомендуется изделия различных производственных партий и типов объединять в группы по общим техническим условиям на

контроль герметичности – это дает возможность использовать единую схему контроля и контрольно-измерительную аппаратуру, а также группировать по сходным конструкциям корпусов изделий и их входных каналов, что позволяет применять при проектировании общие уплотнительные элементы, загрузочные и фиксирующие устройства. Здесь же необходимо проанализировать пригодность конструкций изделий и требований технических условий на их испытания на герметичность для автоматизации данной операции.

Рациональное группирование изделий позволяет проектировать оборудование с максимальной производительностью и минимальной переналадкой на контроль различных типов изделий. Например, средства пневмоавтоматики высокого давления можно группировать по одинаковым техническим условиям на контроль утечки сжатого воздуха (по величине испытательного давления 0,63 МПа и 1,0 МПа, а также одинаковой допустимой утечке), по сходной конструкции входного пневмоканала – это позволяет использовать в разрабатываемом оборудовании в первом случае общий контрольный блок, а во втором – одинаковое уплотняющее устройство (торцевое или внутреннее манжетное [1]). Первый этап завершается определением производительности проектируемого оборудования, пример расчета которого рассмотрен в [1, 3].

На втором этапе проектирования определяется необходимость переналадки проектируемого устройства, которая должна предусматривать: возможность системы управления функционировать с учетом различного времени ис-



Алгоритм проектирования автоматизированного оборудования для контроля герметичности

пытания изделий под давлением; перенастройку контрольно-измерительного блока на различные допустимые величины утечки пробного газа, а также на различные уровни испытательного давления. Затем следует осуществить выбор способа контроля и средств его реализации [4, 5]. Предварительно технические условия на проведение контроля герметичности должны быть рассмотрены при анализе технического задания. Здесь, как правило, предпочтение следует отдавать типовым, широкопредельным контрольно-измерительным устройствам. Но в отдельных случаях рекомендуется разработка специального контрольного блока, который в полной мере соответствует требованиям проектируемого автомата или полуавтомата, например, по требованию к перенастраиваемости устройств, диапазону испытательного давления [6, 7].

На третьем этапе проектирования выбирается уровень автоматизации и перенастраиваемости всего устройства.

К автоматам для испытания на герметичность относятся устройства, которые осуществляют весь процесс контроля герметичности, включая разбраковку, загрузку–разгрузку изделий без участия оператора [8, 9].

К автоматизированным устройствам (полуавтоматам) для контроля герметичности относятся устройства, в работе которых участвует оператор. Он может осуществлять, например, загрузку–разгрузку испытуемого изделия, разбраковку на «годные» и «брак» по информации контрольно-измерительного блока, снабженного автоматическим регистрирующим элементом. При этом общее управление устройством, включая привод транспортного приспособления, зажим–разжим (фиксация), уплотнение изделия, выдержка времени контроля и другие функции осуществляются автоматически. Перспективные схемы автоматизации контроля герметичности по манометрическому методу рассмотрены в [4, 5].

После оценки уровня автоматизации следующей важной задачей является выбор и анализ компоновочной схемы, которую следует вычертить в масштабе. Она позволяет рационально скомпоновать все устройства проектируемого оборудования. Здесь особое внимание следует уделить выбору позиции загрузки–разгрузки изделия, траектории перемещения загрузочного оборудования. Проблемы связаны с тем, что загружаемые изделия (объекты ис-

пытания), как правило, имеют сложную пространственную конфигурацию, поэтому трудно ориентируются, захватываются и удерживаются. Из-за этого требуется создание специального ориентирующего и загрузочно-разгрузочного оборудования, что не всегда приемлемо по экономическим причинам, поэтому ручная загрузка может оказаться рациональным решением. Как адекватное решение вопроса рекомендуется рассматривать применение промышленных манипуляторов и роботов.

Следующим важным этапом проектирования является выбор системы управления и синтез схемы управления. Здесь следует придерживаться рекомендаций и методик разработки систем управления технологическим оборудованием, приведенных в литературе [10].

Выбор схемы подготовки воздуха является достаточно простым, так как хорошо технически проработан. Но недооценка важности этого вопроса может привести к повышенной загрязненности сжатого воздуха (механическими примесями, водой или маслом), используемого в качестве пробного газа, что серьезно повлияет на точность контроля и надежность работы оборудования в целом. Требования к воздуху, используемому в пневматических контрольно-измерительных устройствах, изложены в ГОСТ 11662–80 «Воздух для питания пневматических приборов и средств автоматизации». При этом класс загрязненности должен быть не ниже второго по ГОСТ 17433–80. При выборе схемы подачи испытательного давления следует учитывать обязательную его стабилизацию с высокой точностью, необходимость подключения к поворотному тактовому столу или другому перемещающемуся оборудованию, а также одновременное питание большого количества блоков контроля.

На завершающем этапе осуществляется экспертная оценка проекта автоматизированного устройства для контроля герметичности. Здесь целесообразно давать оценку проекту коллегиально, по определенным критериям, с привлечением специалистов подразделения, где предполагается внедрение разрабатываемого устройства. Затем проводится экономическая оценка проекта. На основании сделанных заключений принимаются окончательные решения о дальнейшей разработке рабочей документации, создании и внедрении автоматического или автоматизированного устройства для контроля герметичности по данному проекту.

Необходимо отметить, что по многим вопросам проектирование автоматических устройств для контроля герметичности сходно с проектированием автоматического оборудования для линейных измерений, размерной сортировки, сборки и т. п. [10]. Однако имеются и определенные особенности, которые рассмотрены в данной статье и приведенной литературе.

На основании приведенных рекомендаций были разработаны оригинальные конструкции автоматизированных стендов для контроля герметичности газовой аппаратуры, которые защищены патентами [11,12]. Кроме того, рассмотренный алгоритм может служить основой для разработки программы, позволяющей автоматизировать проектирование соответствующего оборудования для контроля герметичности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барabanов, В. Г. Устройство для автоматического зажима и уплотнения газовых кранов при испытании на герметичность / В. Г. Барabanов // Известия ВолГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолГТУ. – Волгоград, 2003. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»). – С. 75–79.
2. Барabanов, В. Г. Производительность автоматизированных стендов для контроля герметичности дискретно-непрерывного действия / В. Г. Барabanов // Известия ВолГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолГТУ. – Волгоград, 2002. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»). – С. 47–51.
3. Барabanов, Г. П. Автоматизация приемосдаточных испытаний на герметичность в производстве газовой аппаратуры / Г. П. Барabanов, В. Г. Барabanов // Известия ВолГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолГТУ. – Волго-

град, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 62–65.

4. Диперштейн, М. Б. Особенности построения схем автоматизации контроля герметичности запорных кранов / М. Б. Диперштейн, В. Г. Барabanов // Известия ВолГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолГТУ. – Волгоград, 1997. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»). – С. 31–37.

5. Диперштейн, М. Б. Применение мостовых измерительных схем для автоматизации манометрического метода контроля герметичности / М. Б. Диперштейн, В. Г. Барabanов // Известия ВолГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолГТУ. – Волгоград, 1998. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»). – С. 12–24.

6. Лемберский, В. Б. Принципы проектирования операций пневматических и гидравлических испытаний / В. Б. Лемберский // Измерительная техника, 1979. – № 1. – С. 44–46.

7. Средства контроля герметичности: В 3 т. Т. 2. Промышленные средства контроля герметичности / под ред. А. С. Зажигина. – М.: Машиностроение, 1977. – 184 с.

8. Сажин, С. Г. Автоматизация контроля герметичности изделий массового производства / С. Г. Сажин, В. Б. Лемберский. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1977. – 175 с.

9. Сажин, С. Г. Автоматизированные устройства для контроля герметичности изделий / С. Г. Сажин, Л. А. Столбова // Дефектоскопия, 1984. – № 8. – С. 3–9.

10. Кузнецов, М. М. Проектирование автоматизированного производственного оборудования / М. М. Кузнецов, Б. А. Усов, В. С. Стародубов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

11. Пат. 2141634 РФ, МПК 6 G 01 M 3/02 Автоматизированный стенд для испытания изделий на герметичность / Г. П. Барabanов, М. Б. Диперштейн, В. Г. Барabanов; ВолГТУ. – 1999, БИ № 32.

12. Пат. 2194259 РФ, МПК 7 G 01 M 3/02 Автоматизированный стенд для испытания изделий на герметичность / Г. П. Барabanов, В. Г. Барabanов; ВолГТУ. – 2002, БИ № 34.

УДК 621.9.02

Е. С. Веселова, Е. Г. Крылов

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В статье рассмотрено влияние различных факторов на возникновение погрешностей при измерении электромагнитных характеристик твердосплавных режущих пластин. Приведены общие причины возникновения погрешностей. Выделены основные этапы обработки результатов измерений. Приведены рекомендации по повышению точности измерений.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, погрешность результата измерения, сортировка твердосплавных пластин, обработка результатов наблюдения.

Influence of different kinds of factors on errors origins of measurement of electromagnetic characteristics of the polyhedral cutting plates is considered. The general reasons of errors origins are adduced. Basic steps of measurement results handling are emphasized. Recommendations on measurement accuracy increasing are considered.

Keywords: coercive force, error of measurement results, hard-alloy plates sorting, measurement results handling.

В мелкосерийном и серийном автоматизированном производстве широко применяется многолезвийный режущий инструмент с меха-

ническим креплением сменных многогранных твердосплавных режущих пластин. Экспериментальные исследования в производственных

и лабораторных условиях показали, что для режущих пластин марок ВК, ТК, ТТК из одной партии поставки с одинаковым сертификатом качества разброс режущих свойств достигает 25 % и более [1, 2]. Оснащение такими пластинами сборного многолезвийного инструмента значительно снижает эффективность обработки из-за неравномерного количественного износа режущих кромок.

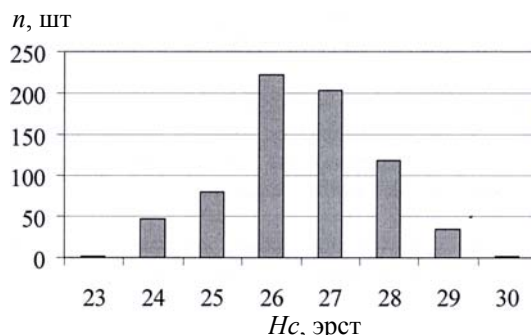
Решение данной проблемы может быть получено как в ходе активного контроля состояния режущего инструмента в процессе обработки по одному или нескольким диагностическим признакам [3], так и путем предварительного неразрушающего контроля и последующей сортировки пластин по группам качества [4, 5]. В данной работе рассматривается второй подход, основанный на измерении коэрцитивной силы в твердых сплавах.

Коэрцитивная сила является чувствительной характеристикой к изменению химического состава и структурных составляющих твердого сплава. Она не зависит от колебания размеров изделий одной формы, что позволяет применять ее в качестве оценочного параметра для контроля однородности свойств твердосплавных пластин различных типоразмеров [6]. Величина коэрцитивной силы для изделий одной партии спекания в большинстве случаев имеет связь с коэффициентом стойкости при резании – чем выше значение коэрцитивной силы, тем выше коэффициент стойкости.

Контроль твердосплавных пластин, поступающих на ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов», и последующий статистический анализ показали, что коэрцитивная сила пластин из одной партии поставки является величиной переменной, распределение которой с относительной погрешностью $\delta \leq 10\%$ соответствует закону нормального распределения.

На рисунке представлена гистограмма распределения величины коэрцитивной силы партии поставки № 1405 твердосплавных пластин марки Т14К8 производства ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» в количестве 709 шт. с паспортным значением $K_{ст} = 1,7$.

Экспериментальными исследованиями установлено, что пластины считаются однородными по режущим свойствам, если разница по величине коэрцитивной силы составляет не более 2–3 эрстед. Как видно из рисунка, в данной партии поставки наблюдается существенная неоднородность пластин по электромагнитным



Распределение пластин марки Т14К8 по коэрцитивной силе

свойствам, которая снижает эффективность процесса резания многолезвийным инструментом. Таким образом, возникает задача сортировки пластин по группам качества, одно из решений которой предложено в работе [7].

В процессе сортировки пластин неизбежна погрешность результата измерения, которая возникает по следующим причинам:

- 1) при воспроизведении размера единицы физической величины (создание абсолютно точных эталонов невозможно технически);
- 2) при передаче размера единицы физической величины (поверка, калибровка, аттестация);
- 3) при аттестации (из-за несовершенства аттестационного оборудования, методик выполнения измерений);
- 4) при поверке средств измерения (из-за несовершенства методов поверки);
- 5) при градуировке (из-за несовершенства способов нанесения шкал, ошибок при построении градуировочных кривых);
- 6) при рабочих измерениях (выполняемых рабочими средствами измерения в лабораторных, полевых или других условиях);
- 7) при статистической обработке результатов измерений [8].

Для повышения точности измерений важно соблюдать порядок обработки результатов наблюдений при многократных измерениях, который состоит из ряда последовательно выполняемых этапов.

Этап первый. Определение точечных оценок параметров законов распределения результатов измерений. На этом этапе представления значений выборки в виде вариационного ряда ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$) определяются: оценка центра распределения ($X_{ц.р}$); оценка среднеквадратического отклонения СКО отдельных результатов наблюдений (S); оценка СКО среднего арифметического значения (S_x). В соответствии с при-

нятыми критериями исключаются грубые погрешности (промахи) и вводятся поправки на систематические погрешности, затем проводится повторный расчет оценок среднего арифметического значения и оценок СКО измерений.

Этап второй. Оценка параметров закона распределения результатов измерений. В этом случае от выборки результатов измерений x_1, x_2, \dots, x_n переходят к выборке отклонений от среднего арифметического $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$. По виду статистических функций распределений может быть найден закон распределения результатов наблюдений.

Этап третий. Оценка закона распределения по статистическим критериям согласия. Для проверки гипотез о виде функции распределения экспериментальных данных используют следующие критерии согласия: Колмогорова, Фишера, Пирсона, Смирнова.

Этап четвертый. Определение доверительных интервалов случайной погрешности. Если удалось идентифицировать закон распределения результатов измерений, то с его использованием находят квантильный множитель при заданном значении доверительной вероятности.

Этап пятый. Определение границ неисключенной систематической погрешности результата измерений. Под этими границами понимают найденные нестатистическими методами границы интервала, внутри которого находится неисключенная систематическая погрешность.

Этап шестой. Определение доверительной границы погрешности результата измерения. Данная операция осуществляется путем суммирования СКО случайной составляющей S_x и границ неисключенной систематической составляющей θ в зависимости от соотношения этих погрешностей между собой.

Этап седьмой. Формирование результата измерений.

Представленный выше порядок обработки результатов наблюдений может быть алгоритмизирован и представлен в виде программного обеспечения для САПР технологической подготовки производства или интеллектуальных систем управления технологическим оборудованием [9, 10]. Это позволит повысить достоверность оценки при распределении режущих

пластин по группам качества и, как следствие, повысить эффективность механической обработки на автоматизированном оборудовании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плотников, А. Л. Надежность процесса многолезвийной обработки на фрезерных станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»; вып. 3). – С. 21–22.
2. Плотников, А. Л. Обеспечение надежности работы сборного многолезвийного твердосплавного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании / А. Л. Плотников, Г. В. Ханов, Е. Г. Крылов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – № 3. – С. 40–44.
3. Плотников, А. Л. Оценка режущих свойств твердосплавных пластин по величине термоЭДС / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Р. Ю. Бирюков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 3). – С. 68–70.
4. Пат. 2370345 РФ, МПК В 23 В 25/06, G 01 N 3/58. Способ определения допустимой скорости резания в условиях многоинструментальной настройки / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. В. Дудкин; ВолгГТУ. – 2009.
5. Плотников, А. Л. Рациональное комплектование сборных многолезвийных твердосплавных инструментов / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. В. Дудкин // СТИН. – 2011. – № 6. – С. 14–17.
6. Клюев, В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
7. Крылов, Е. Г. Автоматизированный комплекс для оценки качества твердосплавных режущих пластин, комплектуемых в сборные многолезвийные инструменты / Е. Г. Крылов, А. Л. Плотников, Г. В. Ханов, Е. В. Дудкин, А. О. Великая // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 5. – С. 12–17.
8. Третьяк, Л. Н. Обработка результатов наблюдений. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
9. Плотников, А. Л. САПР для расчета и коррекции режимов обработки на станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. М. Фролов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 91–93.
10. Трегуб, А. Ю. Обеспечение поддержки принятия решений в автоматизированных системах управления технологическими процессами / А. Ю. Трегуб, П. В. Берсенева, Е. Г. Крылов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 102–104.

УДК 62–503.55

Н. И. Гданский, А. В. Карпов

ПОСТРОЕНИЕ ГЛАДКИХ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Российский государственный социальный университет

E-mail: al-kp@mail.ru

В статье предложен метод сглаживания траекторий движения транспортных средств, позволяющий получать кривые перемещения, имеющие гладкость второй степени. Для масштабированной сглаживающей кривой найдено два решения в виде алгебраического и тригонометрического полиномов.

Ключевые слова: траектория движения, транспортное средство, сглаживающая кривая.

A method was given for smoothing the trajectories of vehicles. It is allowing obtaining the resulting curves with the smoothness of the second degree. For the scaled smoothing curve found two solutions in the form of algebraic and trigonometric polynomials.

Keywords: moving trajectory, vehicle, smoothing curve.

На первом этапе поиска оптимального маршрута движения транспортного средства (ТС) в среде с препятствиями (например в [1]) для сокращения перебора вариантов его определяют в виде опорной ломаной линии, состоящей из звеньев i ($i = 1, \dots, n-1$), последовательно соединяющих узловые точки, координаты которых $(\bar{P}_i = (x_i; y_i); i = 1, \dots, n)$ заданы в абсолютной системе Oxy , привязанной к плоскости движения ТС. Ломаные невозможно использовать для перемещения ТС без остановок в узлах \bar{P}_i из-за возникающих в них разрывов 1-го рода по скорости и 2-го рода по ускорению [2].

Рассмотрим угол γ_i наклона звена i $(\bar{P}_i \bar{P}_{i+1}) = (\Delta_{(i)}^x, \Delta_{(i)}^y)$ относительно горизонтальной оси Ox и угол α_i поворота звена i относительно звена $i-1$ (рис. 1). Если определять их по формулам:

$$\gamma_i = \begin{cases} \arctg \left(\frac{\Delta_{(i)}^y}{\Delta_{(i)}^x} \right) & \text{при } \Delta_{(i)}^x \geq 0; \\ \arctg \left(\frac{\Delta_{(i)}^y}{\Delta_{(i)}^x} \right) + \pi & \text{при } \Delta_{(i)}^x < 0; \end{cases}$$

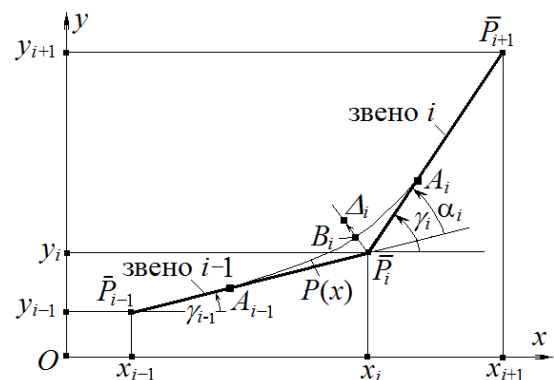
$$\alpha_i = \gamma_i - \gamma_{i-1};$$

$$\text{если } \alpha_i < -\pi, \text{ то } \alpha_i = \alpha_i + 2\pi;$$

$$\text{если } \alpha_i > \pi, \text{ то } \alpha_i = \alpha_i - 2\pi,$$

то угол γ_i измеряется в пределах от $(-\pi/2)$ до $(3\pi/2)$, а $\alpha_i \in [-\pi; \pi]$.

Если использовать в качестве переходной кривой $P(x)$ от точки A_{i-1} на звене $i-1$ до точки A_i на звене i алгебраический или тригонометрический полином (рис. 1), то общее требование гладкости траектории второй степени будет вы-

Рис. 1. Соединение звеньев $i-1$ и i

полнено при условии гладкого сопряжения степени 2 кривой $P(x)$ со звеньями ломаной $i-1$ в точке A_{i-1} и i в точке A_i . Примем, что длины сглаживаемых отрезков $P_i A_{i-1}$ и $P_i A_i$ на звеньях $i-1$ и i одинаковы, и обозначим их как L . Также обозначим максимально возможное отклонение от ломаной по биссектрисе внутреннего угла через Δ_i и приближенно зададим условие отсутствия контакта ТС с препятствием:

$$P_i B_i \leq \Delta_i.$$

При выполнении условия равенства длин отрезков $P_i A_{i-1} = P_i A_i = L$ форма кривой $P(x)$ определяется длиной L и углом относительного поворота звеньев α_i . Для краткости введем половинный угол $\beta = \alpha_i / 2$. Выбирая L и β в качестве масштабных параметров, переходим к новым переменным U и r , которые выражаются следующим образом:

$$r = y_i / (L \sin \beta); U = x_i / (L \cos \beta).$$

Искомая масштабированная кривая $r(U)$ четна, поэтому граничные условия для ее построения достаточно задать только в одной из крайних точек, например при $U = 1$. Условие

ее гладкого соединения степени 2 с прямой $r_n(U) = U$ дает следующие условия:

$$\begin{aligned} r(1) = r_n(1) = 1; \quad r'(1) = r'_n(1) = 1; \\ r''(1) = r''_n(1) = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

С учетом четности алгебраический полином представим в виде:

$$r(U) = C_0 + C_2U^2 + C_4U^4. \quad (2)$$

Подставляя (2) в условие (1), найдем вид полинома $r(U)$:

$$r(U) = \frac{3}{8} + \frac{3}{4}U^2 - \frac{1}{8}U^4.$$

Тригонометрический многочлен $g(U)$ обозначим и представим как:

$$g(U) = C_0 + C_1 \cos U + C_2 \cos 2U.$$

Аналогично определяя коэффициенты, получим:

$$g(U) \approx 1,283027 - 1,177361 \cos U - 0,226704 \cos 2U.$$

Наибольшее расхождение между двумя полиномами достигается в средней точке $U = 0$ и равно 0,017. Степенная функция $r(U)$ имеет более простой вид, поэтому предложено использовать именно ее.

Для расчета точек на реальной сглаживающей кривой $P(x)$ необходимо координаты точек на масштабированном полиноме $r(U)$ увеличить по оси x в $L \cos \beta$ раз и по оси y в $L \sin \beta$ раз, повернуть полученные точки относительно

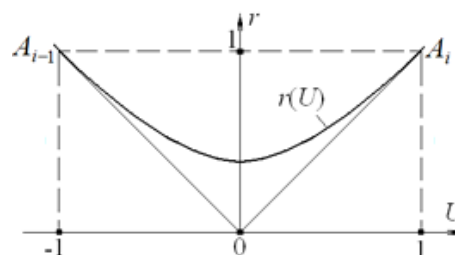


Рис. 2. Масштабированная кривая $r(U)$

начала координат на угол $(\gamma_{i-1} - \beta)$ и совместить начало координат с узлом P_i (рис. 2).

Предложенный метод позволяет сглаживать расчетные опорные ломаные линии движения ТС до второй степени гладкости, что приводит к увеличению возможной скорости движения по ней, а также некоторому общему сокращению длины траектории из ее начальной точки в конечную.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гданский, Н. И. Маршрутизация мобильных средств в автоматизированных транспортных системах химических производств / Н. И. Гданский, В. В. Мальцевский, В. В. Засед // Труды IV Международной научно-практической конференции. – 2007. – С. 267–276.
2. Гданский, Н. И. Интерполирование траектории перемещения исполнительного звена в задачах управления движением / Н. И. Гданский, А. В. Карпов, Я. А. Саитова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: сб. трудов XXIV МНК : в 10 т. Т. 5. Секция 5 / под ред. В. С. Балакирева. – Киев, Национ. техн. ун-т Украины «КПИ», 2011. – С. 119–120.

УДК 62–503.55

Н. И. Гданский, А. В. Карпов, А. С. Волков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С НЕЗАВИСИМЫМ ПРИВОДОМ ВСЕХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Российский государственный социальный университет

E-mail: al-kp@mail.ru

В статье предложена конструкция колесного транспортного средства, у которого отсутствуют механические средства совместного управления движителями. Каждый из них имеет независимый привод вращательного и рулевого перемещений. Рассмотрены вопросы задания траектории и построения моделей силового взаимодействия с внешней средой.

Ключевые слова: транспортное средство, независимый привод.

The paper proposed the construction of a wheeled vehicle, in which there are no mechanical means of joint controls of movers. Each of them has an independent drive rotational and steering movements. Considered the issues of assignment trajectory and models of power interaction with the external environment.

Keywords: wheeled vehicle, independent drive.

Анализ конструкций колесных транспортных средств (ТС) показывает, что их маневренность в значительной степени ограничена при-

меняемыми в них механическими средствами совместного управления движителями. Наряду с этим они существенно увеличивают вес шас-

си и создают паразитное трение колес с опорной поверхностью, вызывающее существенные непроизводительные затраты энергии и износ шин. Для достижения максимально возможной маневренности шасси ТС, снижения его веса и расхода энергии предложено отказаться от механических средств совместного управления колесами и использовать их независимый привод. Совместную работу всех двигателей обеспечивает подсистема управления верхнего уров-

ня. Для краткости такой привод двигателей ТС назовем независимым. Схема четырехколесного ТС дана на рис. 1.

Введем систему координат $Sx_c y_c$, связанную с ТС: начало C – в центральной точке шасси, оси x_c и y_c – его продольная и поперечная оси. Обозначим угол поворота оси Sx_c относительно направления скорости точки C через $\xi(t)$, для краткости его назовем углом наклона оси ТС относительно траектории. Общую массу ТС обозначим через m , а его момент инерции относительно вертикальной оси, проходящей через центр C – через J_c .

Допустим, в абсолютной плоской декартовой системе Oxy траектория перемещения центра ТС (точки C) задана в параметрическом по времени t виде: $\bar{S}(t) = (x(t); y(t))$; $t \in [t_{нач}; t_{кон}]$ (рис. 2). При независимом приводе двигателей траектория $\bar{S}(t)$ может быть пройдена при различных углах $\xi(t)$ наклона продольной оси ТС относительно нее, поэтому для однозначного задания перемещения ТС наряду с $\bar{S}(t)$ необходимо задать и закон изменения угла $\xi(t)$ при $t \in [t_{нач}; t_{кон}]$.

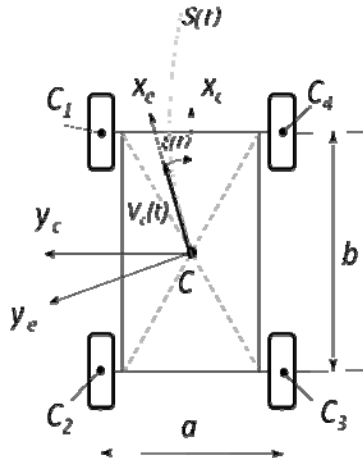


Рис. 1. Схема шасси ТС

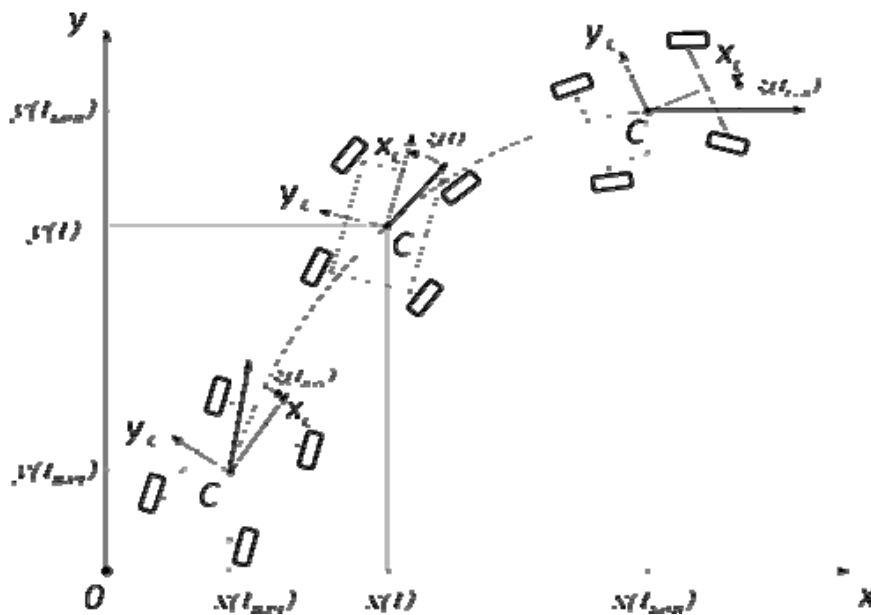


Рис. 2. Прохождение траектории ТС с независимым приводом двигателей

Общим случаем задания траектории ТС назовем вариант кинематических условий, представленный в (1а):

$$\bar{S}(t) \neq 0; \xi(t) \neq 0; t \in [t_{нач}; t_{кон}]. \quad (1a)$$

Перемещением с ориентацией по траекто-

рии назовем вариант (1б), в котором продольная ось ТС x_c всегда совпадает с касательной к траектории $\bar{S}(t)$, то есть $\xi(t) \equiv 0$:

$$\bar{S}(t) \neq 0; \xi(t) \equiv 0; t \in [t_{нач}; t_{кон}]. \quad (1б)$$

Чистым вращением назовем перемещение ТС (1 в), при котором геометрическое положение центра ТС постоянно на плоскости Oxy , $\bar{S}(t) \equiv 0$:

$$\bar{S}(t) \equiv 0; \xi(t) \neq 0; t \in [t_{\text{нач}}; t_{\text{кон}}]. \quad (1в)$$

Рассмотрим наряду с системами Oxy и Cx_cy_c относительную плоскую естественную систему координат $Cx_e y_e$, привязанную к траектории $\bar{S}(t)$ точки C . Ее продольная ось x_e совпадает с касательной $\bar{S}'(t) = (x'(t); y'(t))$ к $\bar{S}(t)$, ось y_e перпендикулярна x_e и ориентирована подобно осям u и y_c .

Обозначим путевую скорость перемещения точки C по траектории $\bar{S}(t)$ через $v(t)$ и введем угол $\chi(t)$ наклона вектора касательной к $\bar{S}(t)$ относительно оси Ox . Системы $Cx_c y_c$ и $Cx_e y_e$ можно с большой точностью считать центральными. Пусть на шасси ТС действует система p плоских сил $\bar{F}_1 - \bar{F}_p$. Тогда естественную (эйлерову) форму дифференциальных уравнений плоскопараллельного движения шасси как твердого тела в естественных координатах [1] в каждый момент движения t можно представить в виде:

$$\begin{aligned} m \frac{dv}{dt} &= \sum_{i=1}^p F_{i\tau}; & m \frac{v^2}{\rho_c} &= \sum_{i=1}^p F_{in}; \\ J_c \left(\frac{d^2 \xi}{dt^2} + \frac{d^2 \chi}{dt^2} \right) &= \sum_{i=1}^p m(F_i), \end{aligned} \quad (2а)$$

где $F_{i\tau}, F_{in}$ – проекции сил \bar{F}_i на оси координат x_e и y_e ; $m(F_i)$ – момент силы \bar{F}_i относительно оси, проходящей через центр C .

При перемещении с ориентацией по траектории (2а) принимает вид (2б), при чистом вращении шасси – (2в):

$$\begin{aligned} m \frac{dv}{dt} &= \sum_{i=1}^p F_{i\tau}; & m \frac{v^2}{\rho_c} &= \sum_{i=1}^p F_{in}; \\ J_c \left(\frac{d^2 \chi}{dt^2} \right) &= \sum_{i=1}^p m(F_i), \end{aligned} \quad (2б)$$

$$0 = \sum_{i=1}^p F_{i\tau}; \quad 0 = \sum_{i=1}^p F_{in}; \quad J_c \left(\frac{d^2 \xi}{dt^2} \right) = \sum_{i=1}^p m(F_i). \quad (2в)$$

В реальных условиях недетерминированность текущего состояния объекта управления и взаимодействия его со средой включает такие виды неопределенности, как состояние поверхностей в контактах «шина–опорная поверхность», переменность характеристик шин. Для практической реализации адаптивного управления общую динамическую модель ТС (2а) предлагается определить с точностью до вектора параметров, существенно влияющих на управление, и применить принципы дуального управления [2].

На основе анализа кинематики и динамики перемещения ТС предложено использовать следующий минимальный набор существенных параметров:

- 1) суммарный момент сопротивления качению колес ТС M_{fc} ;
- 2) усредненный радиус r_{k0} качения колес ТС;
- 3) предельное значение M_{kn} для максимального крутящего момента сил M_k , передаваемого колесами ТС при продольном перемещении без скольжения;
- 4) масса m и момент инерции J_c ТС относительно его центральной оси;
- 5) продольные φ_x и поперечные φ_y коэффициенты сцепления колес ТС при торможении и разгоне.

Применение ТС с независимым приводом колес позволит получить максимально возможную маневренность его шасси, сократить его вес за счет устранения механических элементов привода колес, а также существенно снизить расход энергии на выполнение перемещений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для вузов / С. М. Тарг. – 15-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2005. – 415 с.
2. Фельдбаум, А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А. А. Фельдбаум. – 2 изд. – М.: Наука, 1966. – 624 с.

УДК 621.757:519.87

*И. Е. Грязнов, И. А. Барина***РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА РЕГУЛИРОВАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКОВ СТАНДАРТА МЭК****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Статья посвящена разработке алгоритма регулирования, основанного на нейронной сети. Результаты моделирования подтвердили высокую эффективность использования нейросетевых алгоритмов для построения регуляторов. Использование нейронных сетей открывает широкие возможности для оптимизации существующих алгоритмов путем настройки весовых коэффициентов регулятора в соответствии с выбранным типом обучения.

Ключевые слова: нейронная сеть, нейросетевой регулятор, весовой коэффициент, обучение сети, обратное распространение ошибки.

This article is devoted to development of control algorithm, establishing on neural network.

The results of simulation have corroborated high performance of application of neural algorithms for building controllers. The application of neural networks also gives the wide opportunities for optimization of existing algorithms by tuning of weight constants in accordance with chosen learning type.

Keywords: neural network, neural controller, weight constant, learning of network, back propagation.

Для управления технологическими процессами применяются различные способы регулирования их параметров. В частности, широко распространен ПИД – закон регулирования, основанный на формировании управляющего сигнала на выходе регулятора, действие которого направлено на уменьшение отклонения текущего значения контролируемой величины от заданного.

Однако существует класс объектов управления, для которых трудно определить передаточную функцию – зависимости, вовлеченные в его реализацию, настолько сложны, что не допускают аналитического представления, или неизвестны. В таких случаях вычисление оптимального управления с использованием классических регуляторов становится невозможным. Решить проблему регулирования можно с использованием нетрадиционных методов управления, таких, как нейронные сети [1].

Нейронные сети – это одно из направлений исследований в области искусственного интел-

лекта, основанное на попытках воспроизвести нервную систему человека. А именно: способность нервной системы обучаться и исправлять ошибки, что должно позволить смоделировать работу человеческого мозга.

В настоящее время существует достаточно много инструментов, позволяющих реализовать нейросетевые алгоритмы на практике. Однако среди них стоит выделить программный комплекс CoDeSys. Это широко известный аппаратно независимый комплекс прикладного программирования контроллеров на языках стандарта МЭК 61131-3. CoDeSys снабжен всеми редакторами, предусмотренными стандартом МЭК, для разработки приложений.

Для того, чтобы сделать вывод об эффективности применения нейросети в сложных системах управления, выберем в качестве объекта регулирования колебательное звено. В качестве возмущающего воздействия выбираем гармонический сигнал. В системе устанавливаются автоколебания (рис. 1).

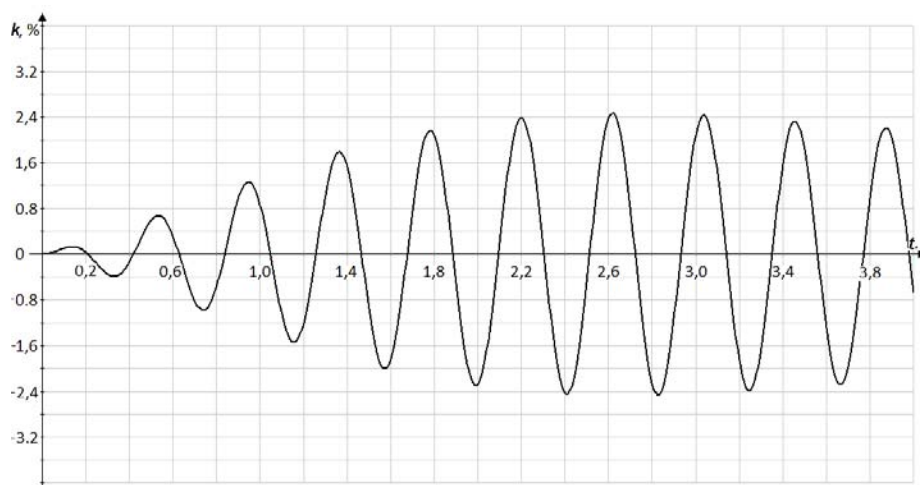


Рис. 1. Автоколебания в системе

Разработанная на языке ST модель нейросети представляет из себя многослойный персептрон (в данном случае использовалось 3 слоя – А, В, С). Каждый нейрон с точки зрения редактора ST представляет собой нелинейный преобразователь – полученный сигнал меняется в соответствии с функцией активации, а набор сигналов, снятых с определенного слоя, записывается в виде двумерного массива:

```
Vhod:ARRAY[1..3] OF REAL:=3(0);
```

```
A: ARRAY [1..3,1..3] OF REAL := 9(0.1);
B:ARRAY[1..3,1..3] OF REAL:=9(0.1);
OUTB:ARRAY [1..3] OF REAL;
OUTA:ARRAY [1..3] OF REAL;
```

В начальный момент времени массивы инициализируются небольшими положительными значениями, чтобы предотвратить попадание регулятора в потенциальный минимум.

На рис. 2 приведена структура полученного регулятора.

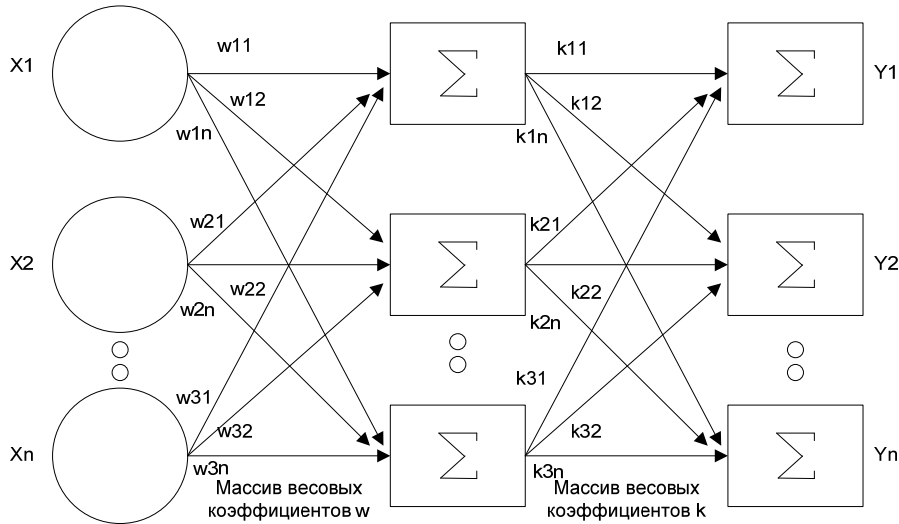


Рис. 2. Структура нейросетевого регулятора

В качестве алгоритма обучения был выбран алгоритм обратного распространения ошибки [2]. Обучение алгоритмом обратного распространения ошибки предполагает два прохода по всем слоям сети: прямого и обратного. При прямом проходе входной вектор подается на входной слой нейронной сети, после чего распространяется по сети от слоя к слою по следующему механизму:

```
FOR i:=1 TO 3 DO
SumA:=A[1, i]+A[2, i]+A[3, i];
OUTB[i]:=1/(1+EXP(-SumA));
SumB:=B[1, 1]+B[2, 1]+B[3, 1];
OUT1:=1/(1+EXP(-SumB));
END_FOR;
```

Здесь переменная SumB содержит сумму сигналов соседних нейронов, которая затем поступает в нелинейное звено, выходом которого является переменная OUT1. Далее сигнал поступает в регулируемое звено.

Во время обратного прохода все синаптические веса настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок. Синаптические веса настраиваются с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому [2].

Для формирования желаемого сигнала был реализован так называемый идеальный наблюдатель – аperiodическое звено, в реакции которого на задающее воздействие должен приближаться сигнал объекта управления. На языке ST наблюдатель записывается следующим образом:

```
TPInst(IN:=BOOL1,PT:=T#100s);
BOOL1:=TRUE;
Zadanie:=1;
system:=TPInst.ET;
t:=TIME_TO_REAL(system)/1000;
//переменная Ideal – идеальная переходная характеристика, вид которой задает пользователь.
Ideal:=Zadanie*(1-EXP(-t/0.65));
```

Введем величину DELTA, которая равна разности между требуемым и реальным выходами, умноженной на производную логистической функции активации. Тогда веса выходного слоя после коррекции будут преобразовываться сетью по алгоритму:

```
Delta:=OUT*(Ideal-OUT)*(1-OUT);
FOR i:=1 TO 3 BY 1 DO
IF Zs=FALSE THEN
B[i,1]:=B[i, 1]+N*Delta*OUT;
```

//здесь N – коэффициент обучения, на котором основывается скорость реакции нейросети. Данная переменная инициализируется значением 0,5 и в дальнейшем уменьшается, так как уменьшается ошибка регулирования, и с каждым циклом необходима более тонкая настройка [2].

```
N:= N*0.95;
END_IF;
END_FOR;
А для весов скрытого слоя:
FOR i:=1 TO 3 DO
FOR j:=1 TO 3 DO
IF Zs=FALSE THEN
DeltaAB:=OUTB[i]*(1-OUTB[i]);
OUTA[i]:=1/(1+EXP(-Vhod[i]));
A[j, i]:=A[j, i]+0.5*DeltaAB*OUTA[i];
END_IF;
END_FOR;
END_FOR;
```

Результаты управления: перерегулирование 10 %, время переходного процесса 0,5 с. Таким образом, применение нейросетевого регулятора позволило избежать автоколебаний, сократить перерегулирование и обеспечить небольшое время переходного процесса. Сократилось коли-

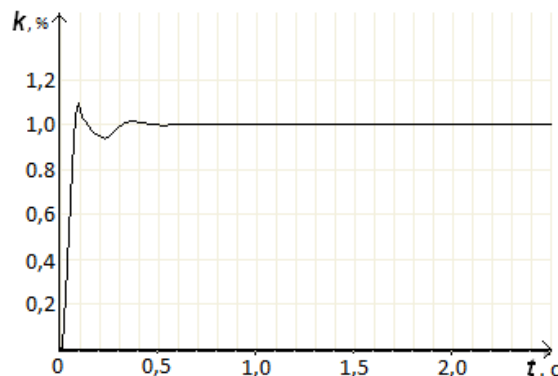


Рис. 3. Процесс регулирования в системе

чество колебаний, что говорит о приближении переходного процесса к процессу в звене-наблюдателе, а также об установившемся режиме, в котором игнорируются помехи и различные возмущающие сигналы. Система стала устойчивой при видимом улучшении динамических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Галушкин, А. И.* Теория нейронных сетей. Кн. 1 // Сер. «Нейрокомпьютеры и их применение» / под ред. А. И. Галушкина. – М.: Изд-во ИПРЖР, 2000. – 416 с.
2. *Горбань, А. Н.* Обучение нейронных сетей / Н. А. Горбань. – М.: ParaGraph, 1990. – 256 с.: ил.

УДК 621.941.29.08

Е. В. Дудкин, С. Г. Поступаева, И. Э. Симонова

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В статье предлагается комбинированный метод оценки работоспособности твердосплавных изделий по величине коэрцитивной силы и сортировки их на группы качества по химическому, в частности, по содержанию углерода, фазовому составу и режущим свойствам.

Ключевые слова: твердосплавные пластины, термоэлектродвижущая сила, коэрцитивная сила, химический состав, фазовый состав, режущие свойства.

The combined method suggested in the paper is designed to evaluate influence of the carbon upon chemical, phase composition and cutting properties.

Keywords: carbide tool inserts, chemical composition, phase composition, cutting properties, thermoelectromotive force (thermoe.m.f), coercitive force.

Современное машиностроение характеризуется быстрым ростом объемов и номенклатуры выпускаемой продукции на базе широкого внедрения средств автоматизации технологических процессов с применением станков-автоматов, автоматических линий, станков с ЧПУ, РТК и модулей ГПС.

В структуре технологических процессов машиностроительного производства изделий наи-

большой удельный вес занимает обработка металлов резанием. Прогрессивные автоматизированные технологические процессы изготовления деталей машин преобладают над другими видами обработки. Поэтому широкое внедрение автоматизированных технологических процессов резания лежит в основе эффективного использования автоматического станочного оборудования, реализующих частично

или полностью технологические процессы изготовления деталей в условиях серийного и массового производства.

В автоматизированном производстве значительно возрастает роль инструмента, который должен удовлетворять всем условиям его эксплуатации в автоматическом цикле, в том числе высокой работоспособности и надежности. Однако режущий инструмент является самым слабым звеном в технологических процессах. По этой причине простои на автоматическом оборудовании составляют до 45 % от общего объема простоев [1].

Это объясняется, главным образом, значительной неоднородностью твердосплавных изделий по содержанию углерода и фазового состава в партиях поставки. Таким образом, процентное содержание углерода в твердых сплавах определяет их химический и фазовый состав, а, следовательно, физико-механические и режущие свойства. Это приводит к изменению режущих свойств твердосплавных изделий от партии к партии спекания в 2...3 раза, а изменение режущих свойств в одной партии в 1,5...2 раза.

В производственных условиях необходимо располагать надежными методами и средствами контроля и сортировки твердосплавных изделий промышленного назначения по режущим свойствам (износостойкости) в соответствии с их химическим и фазовым составом и, таким образом, обеспечить требуемую работоспособность инструмента в любых технологических условиях.

Анализ методов и средств контроля состояния и износа режущего инструмента в процессе эксплуатации подробно рассмотрен ранее [2]. На основании этого анализа был сделан вывод, что в производственных условиях практически возможно применение только двух неразрушающих способов оценки работоспособности твердосплавных изделий: термоэлектрический и комбинированный [3].

Оба метода основаны на измерении процентного содержания углерода, определяющем фазовый состав и объем включений карбидных фаз.

Многочисленными экспериментами установлена зависимость величины износа инструмента по задней грани h_z от величины термоЭДС и коэрцитивной силы [4].

По полученным экспериментальным данным для часто используемых твердых сплавов (Т5К10, Т14К8 и др.) установлена изображенная на рисунке зависимость между термоЭДС (E) и коэрцитивной силой (H_c) в виде линейной модели [5]:

$$E = a + b \cdot H_c.$$

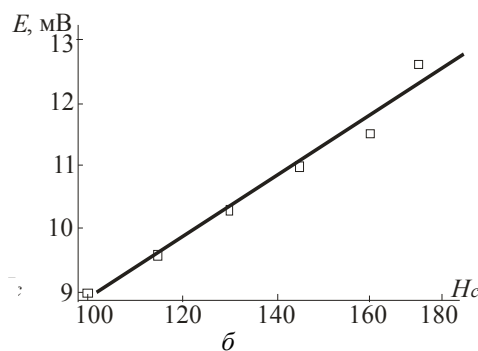
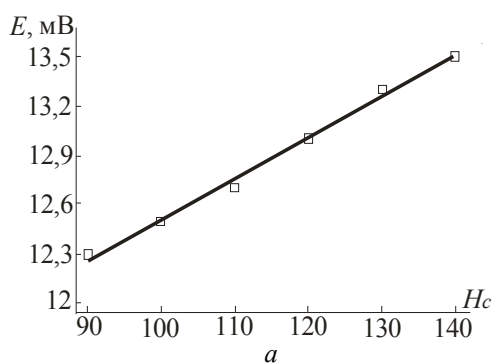
Результаты расчетов приведены в таблице. Коэффициент b в полученных моделях показывает, на сколько в среднем увеличивается термоЭДС при увеличении коэрцитивной силы на единицу.

Все полученные модели имеют высокое качество, о чем свидетельствуют вычисленные значения коэффициентов детерминации R^2 и статистик Фишера F (принимающих значения 160 и выше).

Уравнения регрессии для марок твердых сплавов

Твердые сплавы	Уравнение регрессии
Т5К10	$E = 10,1 + 0,024H_c$
Т15К6	$E = 3,28 + 0,043H_c$
Т14К8	$E = 4 + 0,048H_c$
ВК6	$E = 5,13 + 0,069H_c$
ВК8	$E = 5,875 + 0,046H_c$

Коэффициент детерминации равен доле дисперсии величины E , объясненной влиянием фактора – коэрцитивной силы, и составляет 97,6–99 % в построенных моделях.



Зависимость термоЭДС (E) от коэрцитивной силы (H_c) для двух марок твердого сплава:
 a – Т5К10; $б$ – Т14К8

Полученные значения термоЭДС при известных значениях коэрцитивной силы могут быть положены в основу расчета оптимальной скорости резания обработки детали на многоинструментальных наладках без необходимости измерения термоЭДС пробного прохода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Третьяков, В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В. И. Третьяков. – М.: Металлургиздат, 1976. – 527 с.
2. Инструментальное обеспечение автоматизированного производства: учеб. для машиностр. спец. вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – М.: Высш. шк., 2001. – 271 с.
3. Дудкин, Е. В. Combined Phase Composition and Cutting Properties Control for Cemented Carbide Tool Inserts / Е. В. Дудкин // European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy = EURO PM 2001, Nice, France, October 22–24, 2001. – P. 128–133.
4. Дудкин, Е. В. Инструментальное обеспечение автоматического металлообрабатывающего оборудования / Е. В. Дудкин, С. Г. Поступаева, Д. А. Елистратов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 79–82.
5. Дудкин, Е. В. Работоспособность твердосплавного инструмента на автоматическом металлообрабатывающем оборудовании / Е. В. Дудкин, С. Г. Поступаева, И. Э. Симонова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 74–79.

УДК 621.783.2:519.8

М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев

СТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ САДКИ МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ТОЛКАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Разработана стационарная модель температурного поля садки металла в методической толкательной печи. Установлено влияние слоя окалины на распределение температуры в садке металла по длине печи.

Ключевые слова: методическая толкательная печь, садка металла, слой окалины, приведенные удельные затраты, метод конечных элементов.

Stationary model of temperature field of metal batch in a reheating pusher-type furnace has been developed. An effect of scale layer on temperature distribution in metal batch in length of furnace has been determined.

Keywords: reheating pusher-type furnace, metal batch, scale layer, reduced cost per unit, finite element method.

В методических печах при нагреве заготовок и меняющемся сортаменте проката получение требуемой точности нагрева и температурного перепада по толщине заготовок возможно при внедрении систем автоматического управления работой печей [1, 2].

Критерием оптимального управления, подлежащим минимизации, в таких системах могут выступать приведенные удельные затраты, в которые входит и удельный расход топлива на нагрев металла [1, 3]. При управлении расходом топлива необходимо обладать информацией о распределении температур в садке металла [4, 5].

Для решения задачи повышения качества стального проката разработана стационарная модель температурного поля садки металла в методической толкательной печи. В основу модели положена объемная нелинейная стационарная задача теплопроводности, в которой теплофизические параметры металла зависят от температуры, а температура не изменяется во времени, но изменяется в пространстве.

Модель реализована в математическом пакете COMSOL Multiphysics, предназначенном для решения дифференциального уравнения теплопроводности методом конечных элементов:

$$\nabla \cdot (-k \nabla T) = Q + q_s T - \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T,$$

где ∇ – оператор Гамильтона, $\nabla = (\partial_x, \partial_y, \partial_z)$; k – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); T – абсолютная температура, К; Q – внутренний источник тепла, Вт/м³; q_s – коэффициент выделения/поглощения, Вт/(м³·К); ρ – плотность, кг/м³; C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К); \mathbf{u} – вектор скорости, м/с.

Математический пакет COMSOL Multiphysics позволяет проводить разбиение расчетного рабочего пространства печи на конечные элементы в форме тетраэдров [6].

При построении модели садки металла была разбита на следующие расчетные области: стальные слябы и слой окалины. Обезуглероженный слой, находящийся под слоем окалины, отдельно не рассматривался по причине срав-

нительно малой толщины и сложности определения теплофизических свойств. В качестве окружающей среды для всех поверхностей принята греющая среда. Исключение сделано только для нижних поверхностей слябов в томильной зоне, где окружающей средой является корундовый под.

В методических толкательных печах заготовки располагаются без зазоров, поэтому часто в расчетах нагрева садка металла считается одним прямоугольным параллелепипедом [7]. Однако для повышения точности расчетов в настоящей работе каждый сляб задавался в виде параллелепипеда. Толщина слоя окалины отдельного сляба в расчетной модели равна разности линейных размеров двух параллелепипедов.

При задании геометрии модели было принято следующее допущение: скорость роста слоя окалины изменяется по параболическому закону [8]:

$$x^2 = k_p t,$$

где x – толщина слоя окалины, мм; k_p – параболическая константа роста, мм²/мин; t – время окисления, мин. Параболическая константа роста экспоненциально зависит от температуры:

$$k_p = k_0 e^{-Q/RT},$$

где k_0 – константа; Q – энергия активации окисления железа, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314 \cdot 10^6$ Дж/(моль·К).

Слой окалины состоит из комбинаций вюстита FeO, магнетита Fe₃O₄ и гематита Fe₂O₃, причем при температурах свыше 600 °С вюстит составляет около 96 % от общего объема окалины. При задании теплофизических свойств учитывалось то, что вюстит имеет характеристики, значительно отличающиеся от характеристик стали, например, при температуре 1000 °С коэффициент теплопроводности стали равен 23,69 Вт/(м·К), а вюстита – 3,2 Вт/(м·К) [8]. Удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности стали задавались функциями от температуры, плотность была принята постоянной.

Также были приняты следующие допущения: слябы в садке принадлежат к одной группе нагрева, имеют одинаковые геометрические и теплофизические параметры. При необходимости можно задать различные значения этих параметров. В модели рассматривается только один ряд слябов, тогда как в методической печи стана 2000 помещается в среднем 120 слябов, по 60 слябов в каждом из рядов.

При создании геометрии модели и задании теплофизических свойств осуществлялась привязка к параметрам методических толкательных печей толстолистного стана 2000 ОАО «Металлургический завод «Красный Октябрь» и сортамента заготовок, нагреваемых в этих печах.

После задания теплофизических свойств для всех граничных поверхностей, соприкасающихся с окружающей средой, были указаны граничные условия, в данном случае граничные условия третьего рода:

$$-\mathbf{n} \cdot (-k \nabla T) = q_0 + h(T_{inf} - T) + \varepsilon \sigma (T_{amb}^4 - T^4),$$

где \mathbf{n} – вектор нормали к граничной поверхности; q_0 – тепловой поток, направленный внутрь, Вт/м²; h – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); T_{inf} – температура поверхности тела, К; ε – коэффициент излучения; σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); T_{amb} – температура окружающей среды, К.

Таким образом, в модели описывается теплообмен теплопроводностью, конвекцией и излучением.

С помощью разработанной модели получен трехмерный график температурного поля в садке металла. На рис. 1 представлено распределение скалярного поля температуры по всему объему садки. Поскольку данный рисунок монохромный, с этим распределением совмещен график зависимости среднemasсовой температуры садки от длины печи, дающий представление о температурном поле.

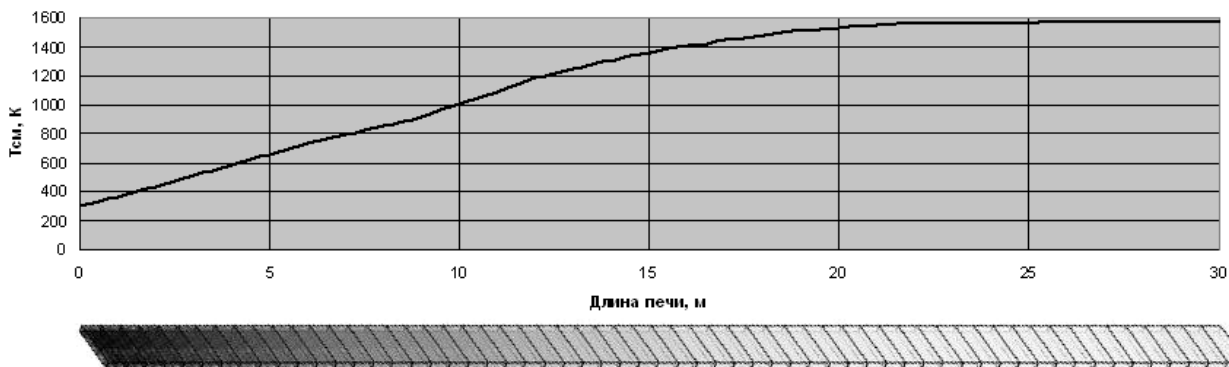


Рис. 1. Распределение скалярного поля температуры по всему объему садки

Модель может быть использована для дальнейшего изучения температурных полей садок металла в методических печах и разработки режимов нагрева заготовок. В пакете COMSOL Multiphysics есть возможность сохранения значений температуры в узлах конечных элементов в отдельные файлы, что делает удобным последующий анализ результатов расчета.

Для установления влияния окалины на распределение температуры в садке металла были созданы две модели – с окалиной и без нее. На рис. 2 видно, что температура центра сляба с окалиной меньше аналогичной температуры сляба без окалины на протяжении всей садки.

В результате моделирования установлено, что окалинка уменьшает скорость нагрева сляба, что усложняет задачу равномерного прогрева заготовок по толщине. Температура сляба с окалиной на выходе из методической печи меньше на 10 К, чем сляба без окалины. Однако общепринятые требования качественного нагрева металла предполагают, что температура поверхности заготовки на выходе из печи должна соответствовать заданному значению с точностью $\pm 10 - 15$ К [1].

В связи с этим нет необходимости учитывать слой окалины для повышения точности

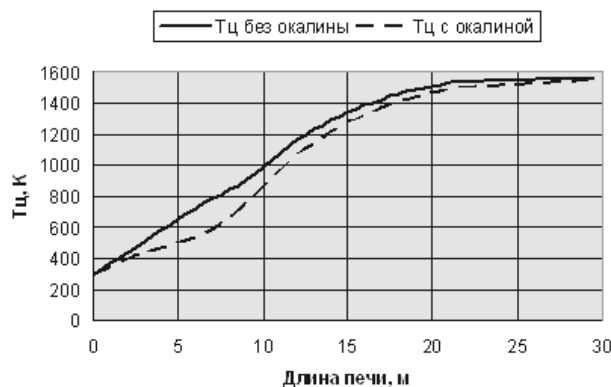


Рис. 2. Зависимость температуры центра сляба от координаты печи с учетом слоя окалины и без его учета

расчетов нагрева. В то же время задание геометрии модели без слоя окалины дает существенный выигрыш во времени расчета модели в COMSOL Multiphysics.

Для усовершенствования модели планируется получить температурное поле всего рабочего пространства печи с выделением следующих расчетных областей: стальные слябы, греющая среда, кладка печи, корундовый под.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация методических печей / Л. И. Буглак [и др.]. – М. : Металлургия, 1981. – 196 с.
2. Сердобинцев, Ю. П. Перспективные направления повышения качества функционирования технологического оборудования : монография / Ю. П. Сердобинцев, О. В. Бурлаченко, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2010. – 412 с.
3. Алехин, А. Г. Оптимальное управление многозонной нагревательной печью / А. Г. Алехин, М. П. Кухтик // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (47) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 54–56.
4. Кухтик, М. П. Алгоритм расчета оптимального режима нагрева металла в методической печи / М. П. Кухтик, А. Г. Алехин // XIII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, г. Волгоград, 11–14 нояб. 2008 г.: тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 177–179.
5. Кухтик, М. П. Энергосберегающее управление процессом нагрева в методической печи с учетом взаимного влияния соседних зон / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев // XV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 9–12 ноября 2010 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2011. – С. 124–126.
6. Егоров, В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности : учеб. пособие / В. И. Егоров. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2006. – 77 с.
7. Свинолобов, Н. П. Печи черной металлургии : учеб. пособие для вузов / Н. П. Свинолобов, В. Л. Бровкин. – Днепропетровск : Пороги, 2004. – 154 с.
8. Investigation of the slab heating characteristics in a reheating furnace with the formation and growth of scale on the slab surface / J. H. Jang [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 53. – P. 4326–4332.

УДК 621.798.34

*А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев***СИНТЕЗ РЫЧАЖНО-ШАРНИРНЫХ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ МАНИПУЛИРОВАНИЯ МЯГКОЙ РАСФАСОВОЧНОЙ ТАРОЙ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Рассмотрен процесс расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару. Для автоматизации захвата, раскрытия, удержания при наполнении и закрытия для прошивки мешков разработано семейство рычажно-шарнирных захватных устройств (РШЗУ), содержащих рычажно-шарнирный механизм с захватами в виде пальцев и привод их перемещения в виде одного или нескольких пневмоцилиндров. Описан принцип действия таких устройств. РШЗУ могут применяться на автоматических линиях расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару типа мешков.

Ключевые слова: расфасовка, сыпучий материал, рычажно-шарнирные захватные устройства, мягкая тару, мешок.

The packaging processes of bulk materials in flexible containers are examined. Family of lever-hinged gripping devices (LHGD) is developed for automation of capture, opening, retention at filling and closing for broaching of bags. LHGD contain lever-hinged mechanism with grippers in the form of fingers and drive of their move as one or several pneumocylinders. Mode of functioning of such devices is described. LHGD can be used on transfer lines of packaging of bulk materials in soft container such as bags.

Keywords: packaging, bulk material, lever-hinged gripping devices, soft container, bag.

Сыпучие материалы широко применяются в промышленности. Некоторые из них являются природными – песок, гравий, уголь, но основная масса – продукт деятельности человека: сахар, мука, сухое молоко (пищевая промышленность), минеральные удобрения, пестициды, порошки, гранулированные смеси (химическая промышленность), зерновые и масличные культуры, корма для животных (сельское хозяйство), строительные смеси и др. Номенклатура сыпучих материалов, особенно сырьевых, неуклонно растет, это связано с их технологичностью в транспортных и перерабатывающих операциях.

Открытые склады сыпучих грузов оказывают отрицательное воздействие на атмосферный воздух, почву и окружающую территорию. Наиболее ощутимо это проявляется в качестве пыления и пылеуноса при транспортировке, перегрузке и хранении. Открытые склады также обуславливают невозвратные потери материала за счет пылеуноса. Решающее влияние на интенсивность пылеобразования при открытом способе хранения сыпучих грузов оказывают геометрические размеры открытого склада, продолжительность нахождения груза на складе и характеристики ветровых потоков, воздействующих на склад. Так, при длине штабеля 0,4 м формы обелиска в поперечном сечении при ветровом потоке со скоростью 5 м/с пылеунос с 1 м² вдоль штабеля составляет 51 мг/с, поперек штабеля – 16 мг/с [1], то есть около 3 г

в минуту. С площади 100 м² получаем пылеунос до 300 г в минуту, или 1,8 кг в час. Размеры потерь материала при хранении в течение нескольких месяцев исчисляются тоннами, поэтому процессы дозирования, упаковки и транспортировки сыпучих материалов занимают одно из ведущих мест.

Операции расфасовки являются вредными для здоровья, трудоемкими, травмоопасными и требуют полной автоматизации. Для открытых мешков из различных материалов сложность решения задачи автоматического их наполнения связана с необходимостью захвата и манипулирования тарой, материал которой пропускает воздух, а также прошивки горловины мешка после наполнения [2].

Для решения задачи автоматического наполнения мешков предлагается использовать рычажно-шарнирные захватные устройства (РШЗУ) [3–5], содержащие захваты в виде пальцев и пневматический привод их перемещения. РШЗУ [4] способно самостоятельно захватить мешок, лежащий в стопе, раскрыть его и подать под загрузочный патрубок для наполнения (рис. 1).

Устройство содержит раму 1, смонтированную на пневмоцилиндре 2, на которой посредством подвижных шарниров 3 установлен РШМ 14, состоящий из двух криволинейных рычагов 4, планки 6, связанной со штоком 5 пневмоцилиндра 2, двух силовых миницилиндров двустороннего действия 10 с штоками 9 и

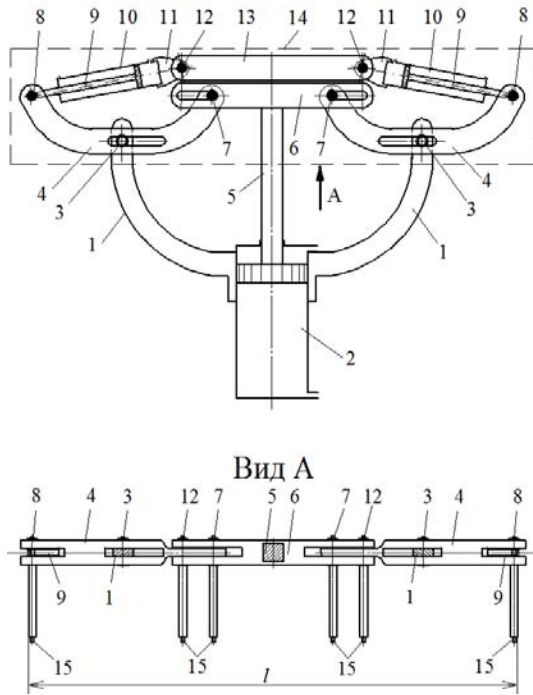


Рис. 1. Рычажно-шарнирное захватное устройство в закрытом положении

дополнительной тяги 13. При этом криволинейные рычаги 4 связаны с планкой 6 подвиж-

ными шарнирами 7, а с штоками 9 – осевыми шарнирами 8. Дополнительная тяга 13 посредством осевых шарниров 12 и накладок 11 связана с основаниями миницилиндров 10. Все пальцы 15, выполняющие функции захватов, расположены соосно осям соответствующих шарниров и перпендикулярно плоскости РШМ 14 (Вид А на рис. 1).

РШМ 14 при выдвинутом штоке 5 пневмоцилиндра 2 обеспечивает расположение пальцев 15 в ряд, при этом при втянутых штоках силовых миницилиндров 10 расстояние между крайними боковыми пальцами (l на рис. 1) меньше размера горловины сложенного мешка. Поэтому, если обеспечить провисание непрошитой горловины мешка (например, приподняв горловину верхнего из стопы мешков, лежащих горизонтально, с помощью вакуумных захватов), можно автоматически ввести пальцы РШЗУ в образовавшуюся открытую полость. Затем, посредством выдвигания штоков 9 силовых миницилиндров 10 боковые пальцы устройства раздвигаются, захватывая горловину мешка 16 с внутренней стороны и удерживая ее (рис. 2, а).

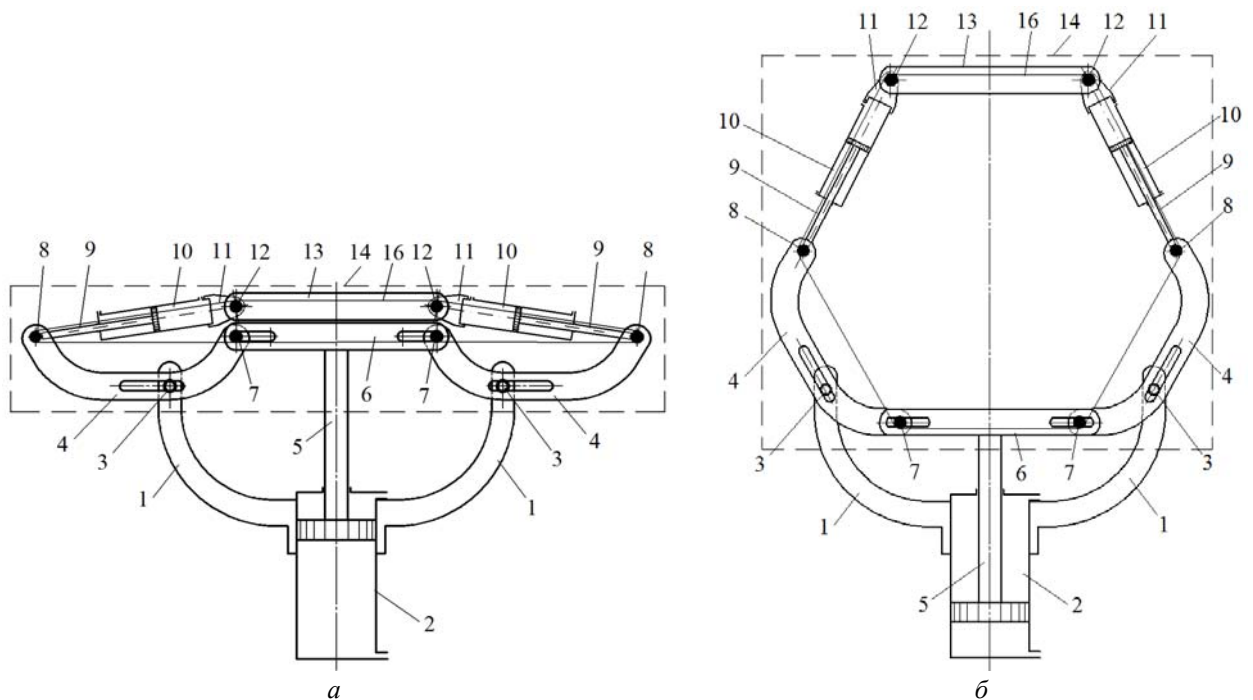


Рис. 2. Рычажно-шарнирное захватное устройство в двух положениях: а – в закрытом, мешок удерживается пальцами; б – в раскрытом, мешок открыт

При втянутом штоке пневмоцилиндра 2 РШМ 14 обеспечивает расположение пальцев (см. поз. 15 рис. 1) в вершинах правильного выпуклого многоугольника (рис. 2, б), тем са-

мым раскрывая и удерживая мешок 16 для наполнения. После наполнения горловина мешка закрывается для прошивки выдвиганием штока 5 пневмоцилиндра 2.

Располагаясь под загрузочным патрубком, основание открытого мешка находится на ленте транспортера, а горловина удерживается за счет распирающих усилий T , действующих со стороны пальцев РШЗУ. Минимально необходимые усилия для удержания мешка при его наполнении определяются по формуле:

$$T_{\min} = \frac{0,86K\rho B^4}{2L - B},$$

где ρ – насыпная плотность материала, L и B – длина и ширина мешка соответственно, K – коэффициент запаса, $K=1,3 - 1,5$.

Проведенные исследования позволили спроектировать и изготовить макет лабораторной установки рычажно-шарнирного захватного устройства и провести тестовые испытания, подтверждающие работоспособность РШЗУ.

На основе полученных результатов предложена схема автоматической линии для расфасовки сыпучих материалов в мешки, которая может использоваться в различных отраслях экономики и позволяет полностью освободить человека от тяжелой, утомительной работы и более не применять ручной труд в процессах

расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару типа мешков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Костюничев, Д. Н.* Оценка потерь и отрицательно-го влияния на окружающую среду открытых складов с сыпучими грузами / Д. Н. Костюничев, Н. С. Отделкин // Журнал университета водных коммуникаций.– 2010.– № 4.– С. 103–108.
2. *Сердобинцев, Ю. П.* Повышение качества предпроектной подготовки процесса фасовки сыпучих материалов в условиях информационно-технологической среды / Ю. П. Сердобинцев, А. М. Макаров // Современные наукоемкие технологии. – 2011.– № 4.– С. 48–50.
3. *Рабинович, Л. А.* Автоматизация подачи мешков из ткани на рабочие позиции фасовочного оборудования / Л. А. Рабинович, Е. С. Брискин, А. М. Макаров // Сборка в машиностроении, приборостроении.– 2009.– № 11.– С. 35–39.
4. Патент РФ № 2421383.2010. Устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков / Л. А. Рабинович, А. М. Макаров.
5. *Рабинович, Л. А.* Устройство для захвата и автоматического раскрытия мешков из ткани / Л. А. Рабинович, А. М. Макаров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8(56) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009.– (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 102–105.

УДК 681.58

В. С. Поляков, С. В. Поляков

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОПОДОБНЫХ СТРУКТУР

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В работе рассмотрена возможность представления описания сложных объектов с параллельно функционирующими компонентами в виде структур, построенных на основе сетей Петри и нейронных сетей. Каждая из рассматриваемых сетей может описываться графом в виде матрицы инцидентора, причем вершины переходов сети Петри являются вершинами одного из слоев нейронной сети, а множество позиций определяет множество решателей. Такой симбиоз двух типов сетей будем называть **нейроподобными**.

Ключевые слова: граф, структура графа, моделирование, параллелизм, сети Петри.

The paper shows the possibility of presenting the description of complex objects with parallel functional components in the form of structures that are based on Petri nets and neural networks. Each of the above networks can be described by a graph as a matrix incidentor, and the vertices of the Petri net transitions are the vertices of one of the layers of the neural network, and the set of positions defines a set of solvers. This symbiosis of the two types of networks called **neural**.

Keywords: graph, graph structure, modeling, parallelism, Petri nets.

Большинство анализируемых сложных систем обладает разветвленной и многоуровневой структурой. Сетевые структуры, используемые в современных системах управления и диагностики, могут быть представлены сетями Петри, нейронными сетями и т. п. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки. Если для описания этих сетей использовать об-

щий аппарат теории графов (сеть Петри представляет собой двудольный граф, а нейронная сеть – полихромный граф), то общую структуру можно представить в виде графа, сочетающего в себе свойства, как сети Петри, так и нейронной сети. А если учесть, что и одна и другая сеть представимы матрицей инцидентора, то такое объединение осуществить достаточно легко.

Система обработки информации в любых стандартных, а тем более сложных системах, как правило, имеет следующий вид.

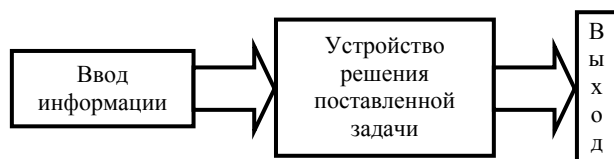


Рис. 1. Система обработки информации

Теперь перейдем к рассмотрению простейшей трехслойной нейронной сети, структура которой представлена на рис. 2, а граф на рис. 3.

Изменим структуру устройства решения задачи следующим образом. Информация, поступающая со входа, распределяется сетью на входы решающих устройств, выходы которых

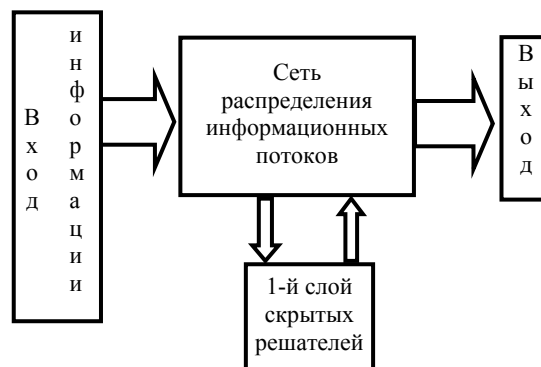


Рис. 2. Структура простейшей нейронной сети

в свою очередь распределяются той же сетью либо на входы решающих устройств, или на выход. Такая структура напоминает структуру нейронной сети (рис. 2).

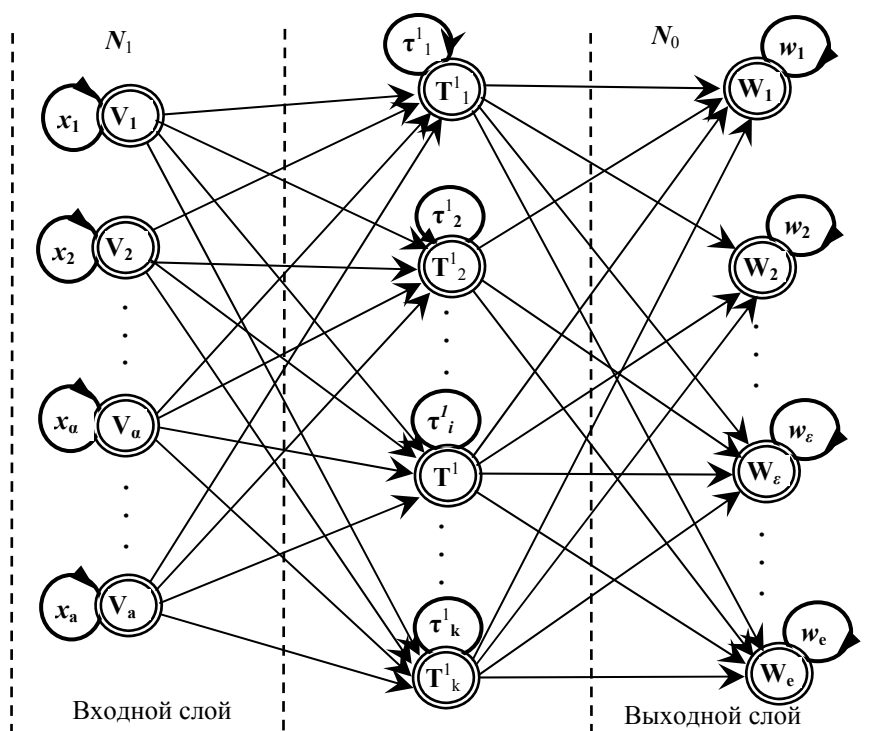


Рис. 3. Граф нейронной сети

Решающими устройствами в такой конструкции могут быть конечные автоматы, микропроцессоры, машины Тьюринга (МТ) и тому подобные устройства.

Рассматривая трехслойную нейронную сеть, граф которой представлен на рис. 3, зададим второй слой сети в виде сети Петри (рис. 4), вершины переходов которой являются вершинами второго слоя нейронной сети.

Взаимодействие такой сети уже не будет чисто нейронным, так как появляется множест-

во вершин $P_1 \dots P_m$, которые, взаимодействуя с элементами нейросети, создают совершенно иную картину работы сети, которую назовем **нейроподобной**.

Элементы одного из подмножеств вершин (множество переходов $\{T_i\}$) будем принимать за элементы сети распределения информационных потоков, а элементы другого подмножества вершин (множество позиций $\{P_j\}$) будут представлять собой множество решателей (рис. 4).

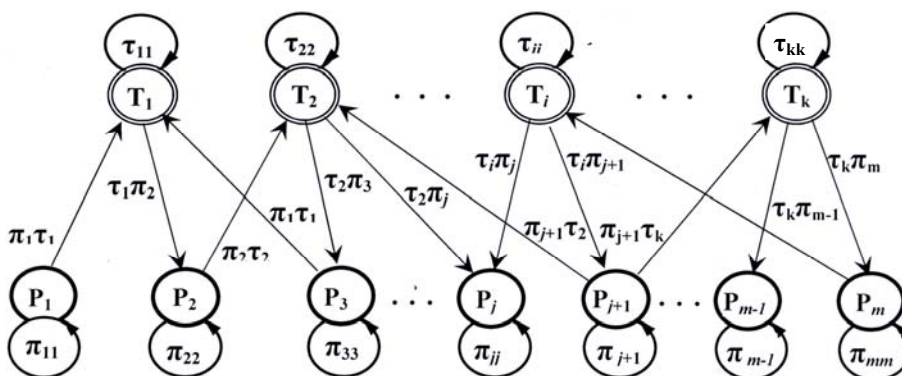


Рис. 4. Граф второго слоя нейронной сети

Теперь перейдем к рассмотрению более сложной четырехслойной нейронной сети, структура которой будет подобна изображенной на рис. 2 и представлена на рис. 5.

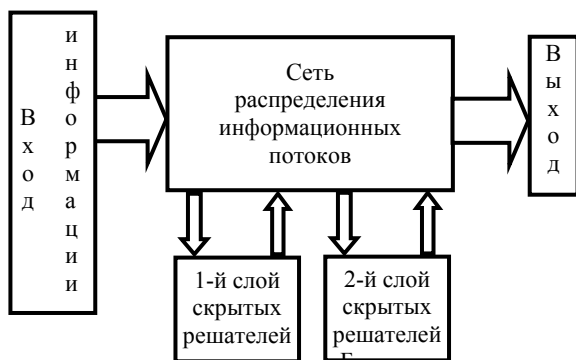


Рис. 5. Структура четырехслойной нейронной сети

Рассматривая четырехслойную нейронную сеть, зададим второй и третий слой сети в виде сетей Петри (как и в рассмотренном выше случае трехслойной сети), вершины переходов которых являются вершинами второго и третьего слоев нейронной сети. Таким образом, получим нейроподобную сеть, но уже с двумя промежуточными слоями.

На рис. 6 показана структура сети – сети распределения информационных потоков, составленная из элементов множества переходов бихроматического графа и множества входов и выходов. Как видно из рисунка, структура будет подобна изображенной на рис. 2, но с некоторыми отличиями. Вводится 2-й слой решателей, а также база данных программ решателей.

Общая структура нейроподобной системы с использованием двух сетей Петри приведена на рис. 7. Следует отметить, что для решения более сложных задач могут быть использованы большее количество СП.

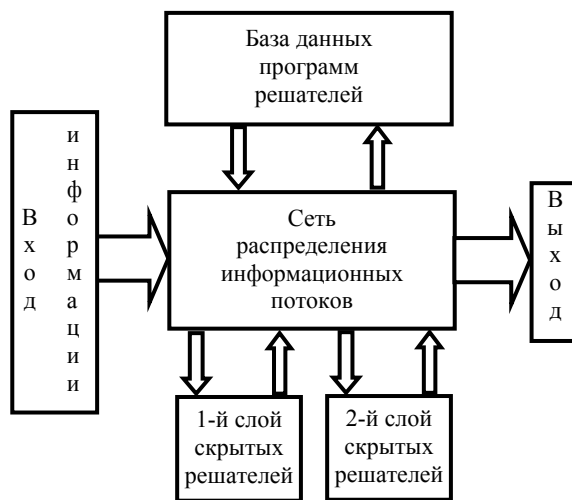


Рис. 6. Структура сети распределения нейронных потоков

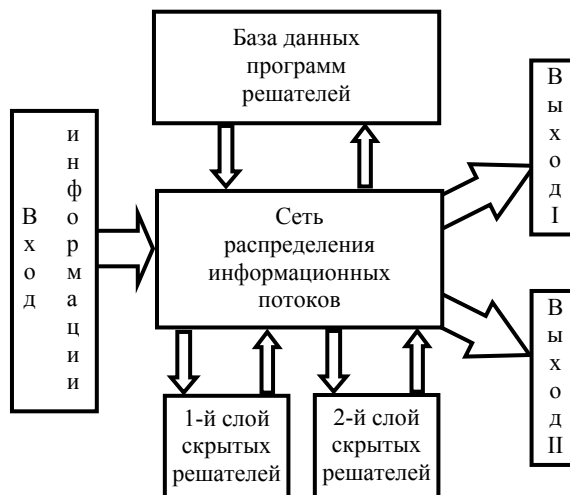


Рис. 7. Структура нейроподобной системы с использованием двух сетей Петри

В работе показана возможность представления описания сложных объектов в системах управления и диагностики в виде нейроподобных структур, компонентами которых являются нейронные сети и сети Петри, причем вершины

переходов сети Петри являются вершинами одного из слоев нейронной сети, а множество позиций определяет множество решателей. Следует отметить, что структуру нейроподобной сети можно представить в виде графа, так как сеть Петри представляет собой двудольный граф, а нейронная сеть – полихромный граф.

УДК 681.58

В. С. Поляков, П. В. Федченков, И. В. Горбушин

УДАЛЕНИЕ ЛОЖНЫХ ЦИКЛОВ В МОДЕЛЯХ, ПОСТРОЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАТРИЦ ИНЦИДЕНТОРА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В работе рассмотрена возможность улучшения моделей систем управления, построенных при помощи матриц инцидентора. Для этого используется удаление ложных циклов в соответствии с созданным для этой цели алгоритмом.

Ключевые слова: граф, структура графа, моделирование, параллелизм.

The paper shows the possibility of improving the models of control systems, built with the help of matrices incidentor. For this research, uses the removal of false cycles in accordance with established for this purpose by the algorithm.

Keywords: graph, graph structure, modeling, parallelism.

Любой сложный объект, осуществляющий технологический процесс, может быть представлен множеством компонентов $K = \{k_p\}$, описываемых графами G^p , взаимодействие между которыми задается операцией композиции графов, осуществляющей r -ое отношение.

Каждое состояние объекта можно представить в виде r -строки состояний компонентов. Все состояния объекта образуют множество $A = \{a_i\}$, которое разбивается на подмножества:

– $A_p \supset A$ – подмножество рабочих состояний;

– $A_{ав} \supset A$ – подмножество аварийных состояний;

– $A_b \supset A$ – подмножество безразличных состояний.

Операция композиции на графах $G^K = \bigoplus_{p=1}^r G^p$, в результате которой получается

граф G^K , позволяет определить все возможные пути (нити) при нормальном функционировании объекта на множестве состояний A_p . Все пути образуют множество $P = \{p_j\}$.

Работу проектировщика, использующего эвристические методы, можно отождествить с

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зыков, А. А. Теория конечных графов / А. А. Зыков. – Новосибирск: Наука, 1968. – 541 с.

2. Поляков, В. С. Моделирование параллельно протекающих процессов блоками взаимодействующих компонентов / В. С. Поляков, С. В. Поляков // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 8. – С. 70–73.

движением по одному из путей гиперграфа G^K от начального состояния к конечному. Однако существует довольно высокая степень вероятности того, что данный путь не является оптимальным и ведет к неоправданным экономическим и временным затратам. Уменьшить влияние эвристических методов можно, используя экстраполирующую модель построения гиперграфа. Такая модель позволяет проектировщику выбирать на гиперграфе оптимальный или близкий к нему путь из того множества путей, которые не могут быть охвачены проектировщиком при эвристической работе.

Для удобства работы представление матрицы инцидентора ведется в виде двумерной матрицы, каждая из строк которой задается тройкой чисел: первое и третье число соответствуют начальной и конечной вершинам ребра (для петель эти числа совпадают), а второе число является ребром или петлей, соответствующей данному переходу или состоянию.

Возможность перехода объекта из одного состояния в другое проверяется по наличию или отсутствию перехода – 1-е и 3-е числа не равны. Однако при рассмотрении системы в целом видно, что не все переходы между состояниями системы допустимы, и это должно учитываться при имитации работы системы.

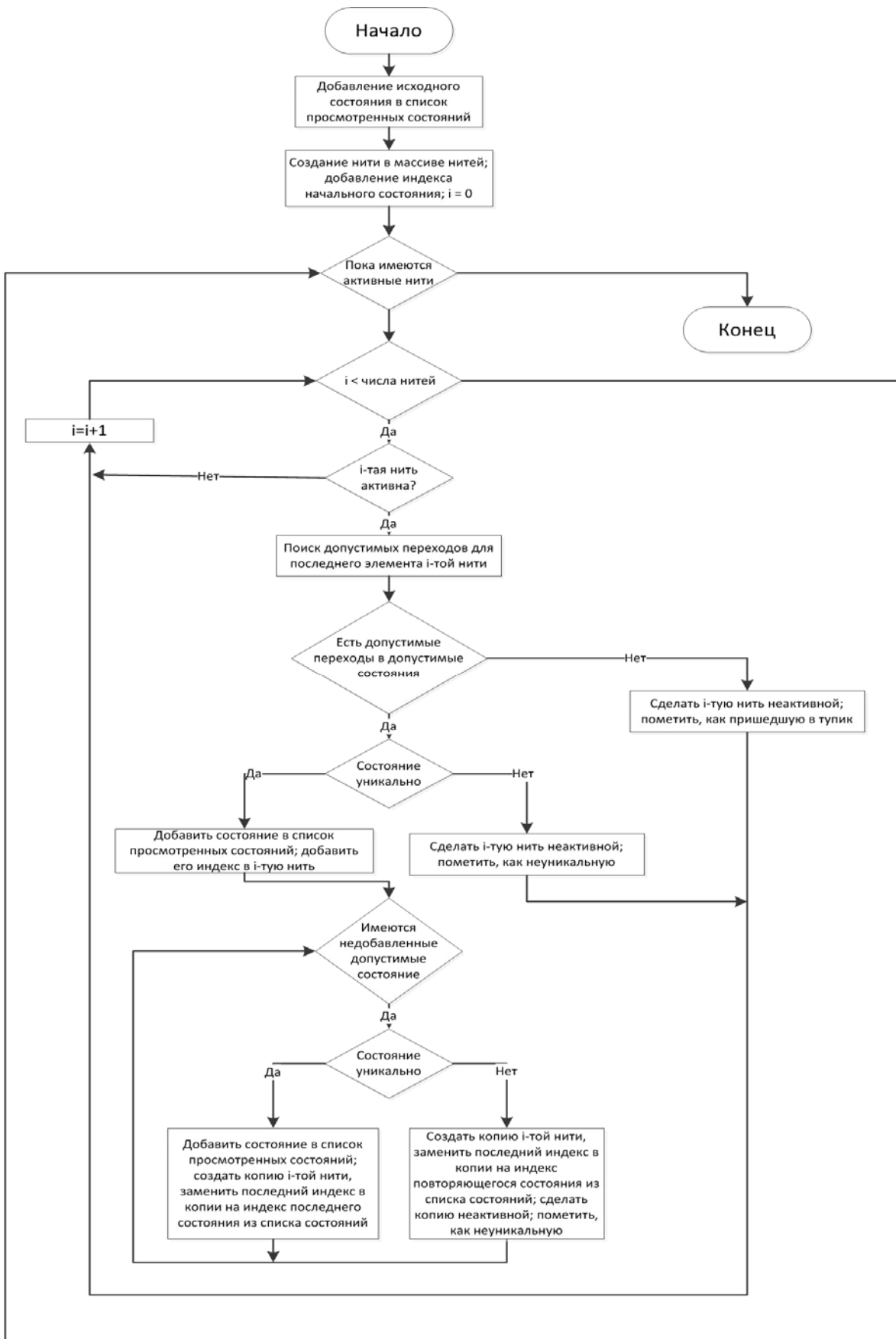


Рис. 1. Алгоритм поиска всех путей из начального состояния системы в конечное

Введены матрицы совместимости, которые производят попарное сравнение состояний каждого из графов системы и представляют собой двумерную булеву матрицу, где каждый элемент (i, j) разрешает или запрещает переход либо состояние, описанное в i -й строке матрицы представления соответствующего графа, при нахождении второго объекта в состоянии (либо совершении им перехода), описанном в j -й строке. С помощью матриц совместимости осуществляется r -е отношение композиции.

Изначально матрицы совместимости заполняются нулями, задается массив начальных состояний системы, допустимые переходы отсутствуют. Создание переходов, по которым может двигаться система из одного состояния в другое, возможно тремя путями:

1. Непосредственным заполнением клеток матрицы (число компонентов мало, описывающие их графы просты).

2. Использование операции композиции, позволяющей по текущему состоянию определить последующее и автоматически занести во все ячейки соответствующих таблиц совместимости значение true.

3. Отслеживая все состояния объекта в ходе процесса, автоматически занести во все ячейки соответствующих таблиц совместимости значение true.

Одним из условий стабильной работы представленной системы является отсутствие ложных петель. Для предотвращения их возникновения и диагностики удобно использовать отображение цепочек всех допустимых переходов системы из исходного состояния. Любая нить соответствует одному варианту развития событий в реальной системе. Число нитей может меняться в зависимости от содержания булевых массивов.

У нити есть начальное и конечное состояния (первое и последнее в последовательности соответственно). Любая нить соответствует одному

варианту развития событий в реальной системе.

Для поиска всех путей из начального состояния системы в конечном применяется следующий алгоритм (рис. 1).

1. Создается очередь. В нее добавляется первый путь, состоящий из одного состояния (начального состояния системы).

2. Создается массив просмотренных состояний (то есть до которых добрался хотя бы один путь). В него добавляется исходное состояние.

3. В цикле по всем активным путям (элементам очереди) из очереди извлекается элемент и назначается текущим путем. Для него производится поиск всех допустимых переходов:

3.1. Если таких переходов нет, то текущий путь отмечается пришедшим в тупик (например, добавляется в массив, содержащий тупиковые пути).

3.2. Если переходы имеются, то для каждого из них состояние после перехода проверяется на принадлежность к массиву просмотренных состояний:

3.2.1. Если подобное состояние уже встречалось, то путь становится неактивным (так как он пришел в состояние, имеющееся в другом пути) и добавляется в массив, содержащий запаздывающие пути.

3.2.2. Иначе в конец очереди добавляются пути, являющиеся объединением текущего пути и каждого из прошедших проверку на уникальность и допустимость состояний.

3.2.3. Если очередь не пустая, то переход к пункту 3.

Путем дальнейших преобразований производится отображение построенных нитей в удобной для анализа форме (рис. 2). Также указанное представление нитей позволяет осуществлять поиск путей между состояниями из массива пройденных состояний без возврата к использованию более ресурсоемких алгоритмов поиска допустимых состояний и переходов.

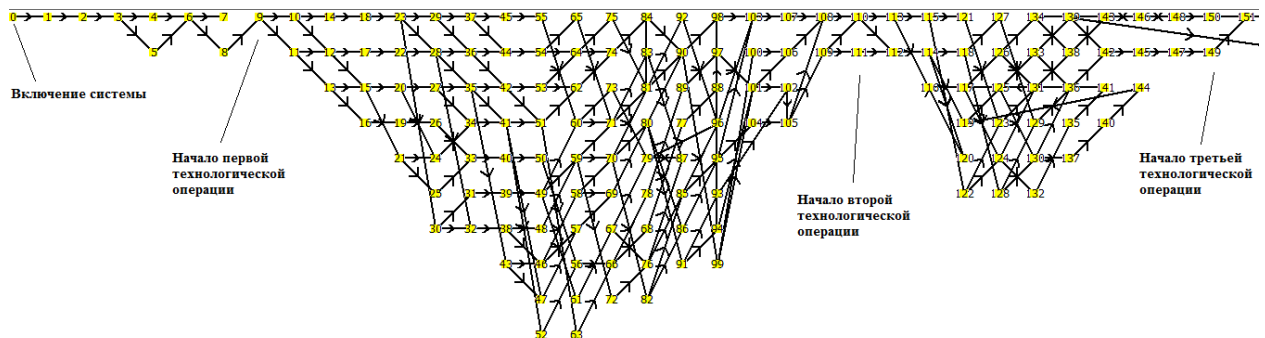


Рис. 2. Графическое отображение нитей

В данном случае основное внимание следует уделять «тупикам», то есть состояниям, не имеющим допустимых переходов (их необходимо удалять, либо добавлять допустимые переходы из них), и петлям. Пример подобной ситуации показан на рис. 3.

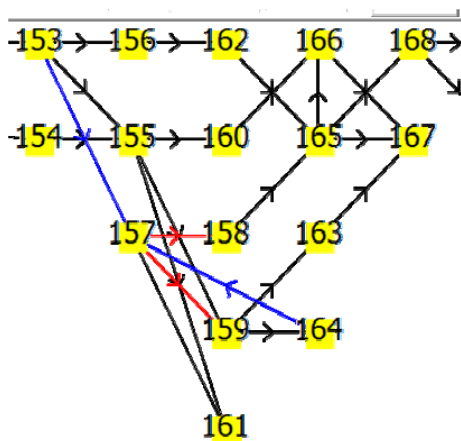


Рис. 3. Петли, образованные состояниями 153-155-161

Как видно из состояний системы в петле меняются только состояния графа компонента, а именно производится уборка отходов производства.

Данная петля является технологической, так как допускается в рамках рассматриваемого процесса, к тому же из состояний под номерами 157 и 159 можно выйти из петли при определенных внешних воздействиях.

Основной же проблемой являются петли или состояния, из которых не имеется выходов (тупиковые). Подобные петли являются недопустимыми, так как ведут к заикливлению процессов, необходимо производить коррекцию массивов булевых констант для их устранения (рис. 4).

Из тупиковых состояний необходимо создавать дополнительный переход в ближайшее нетупиковое состояние. Например, из состояния 167 нет ни одного перехода в любое состояние. В то же время состояние 168 отличается от состояния 167 только состоянием одной компоненты 8. Добавив переход 167–168, убираем тупиковое состояние (рис. 5).

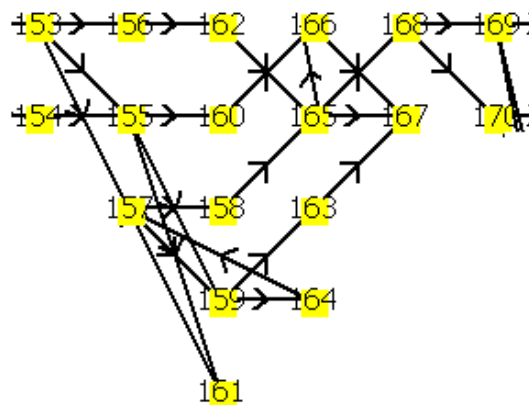


Рис. 4. Тупиковое состояние 167

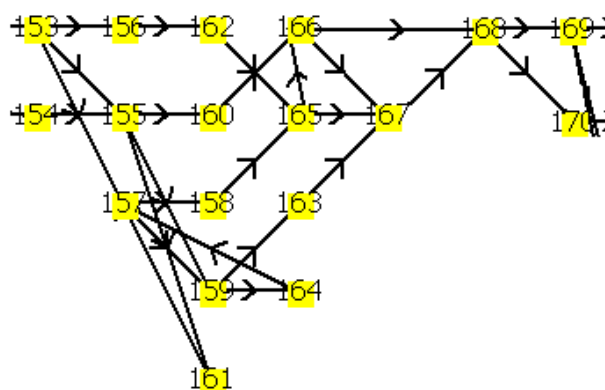


Рис. 5. Тупиковое состояние 167 ликвидировано

Рациональная организация циклов с помощью предложенного алгоритма позволяет не только избежать тупиковых состояний и сократить время выхода из них, но и дает возможность выбора среди всех вариантов оптимального, зачастую недоступного при эвристических методах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков, В. С. Моделирование параллельно протекающих процессов блоками взаимодействующих компонентов / В. С. Поляков, С. В. Поляков // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 8. – С. 70–73.
2. Поляков, С. В. Построение модели для диагностирования технологических процессов с использованием графов / С. В. Поляков, С. Б. Сластинин // Контроль. Диагностика. – 2000. – № 4. – С. 19–22.

УДК 658.512.2

А. В. Чибисов, А. А. Яковлев, В. С. Сорокин

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ОНТОЛОГИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Описывается разработка автоматизированной системы синтеза физического принципа действия как экспертной системы. Проведены рассуждения по выбору моделей представления знаний в базе знаний системы. В качестве модели представления знаний предложена модель онтологий.

Ключевые слова: экспертная система, физический принцип действия, модель онтологий.

Development of an automated synthesis system of the physical principle of action is described as an expert system. Discussion held at the choice of knowledge representation models in a knowledge base of the system. There was proposed ontology model as a knowledge representation model.

Keywords: expert system, physical principle of action, ontology model.

При проектировании различных конструкторских разработок наиболее ответственные задачи решаются на творческих стадиях проектирования. К ним относятся постановка задачи, структурный синтез нового объекта и поиск концептуальных технических решений в рамках заданной структуры. Существует ряд общих подходов к постановке задач проектирования, однако практическая реализация многих из них для отдельных классов технических систем и в том числе, таких как преобразователи энергии, неочевидна.

Для подобных систем в работах [1, 2, 3, 4] была предложена новая модель физического принципа действия (ФПД), которая представляет собой ориентированный граф. Вершинами графа обозначаются места, в которых осуществляются взаимодействия рабочего тела с объектами окружения. Дугами обозначаются переме-

щения рабочего тела внутри устройства и собственно взаимодействия рабочего тела с объектами окружения, для которых введена специальная классификация [5, 6]. Такая модель позволяет отражать те особенности физических процессов, которые не могут быть представлены обычными цепочками физических эффектов, например, процессов, которые осуществляются нестационарно в соответствии с круговыми методами взаимного преобразования энергии.

Для разработки экспертной системы необходимо описать взаимодействие всех модулей системы синтеза технических решений преобразователей энергии для последующей интеграции модуля построения модели ФПД как части общей системы и его взаимодействия с другими модулями системы. На рис. 1 представлена диаграмма прецедентов, в которой определена роль каждого модуля в системе.

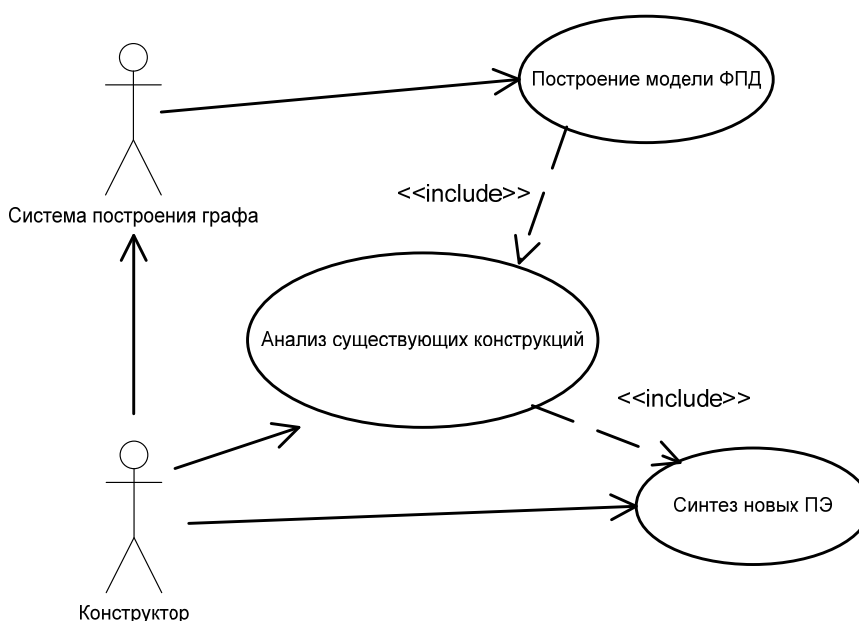


Рис. 1. Диаграмма прецедентов автоматизированной системы построения модели ФПД

В данной диаграмме в качестве актеров выступают Конструктор и Система построения графа, поскольку они исполняют свои роли при взаимодействии с сущностями системы. Система построения графа в ходе своей работы обращается к подсистеме построения модели ФПД, которая включает в себя подсистему анализа существующих конструкций модели ФПД. В ходе своей работы конструктор может взаимодействовать с системой построения графа для построения новой модели ФПД, проводить анализ существующих конструкций и проектировать новые преобразователи энергии на основе синтеза существующих конструкций.

Помимо вышеперечисленного необходимо представить статическую структуру модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования. Диаграмма классов может отражать, в частности, различные взаимосвязи между отдельными сущностями предметной области, а также описывает их внутреннюю структуру и типы отношений. На данной диаграмме не указывается информация о временных аспектах функционирования системы. С этой точки зрения диаграмма классов (рис. 2) является дальнейшим развитием концептуальной модели проектируемой системы.

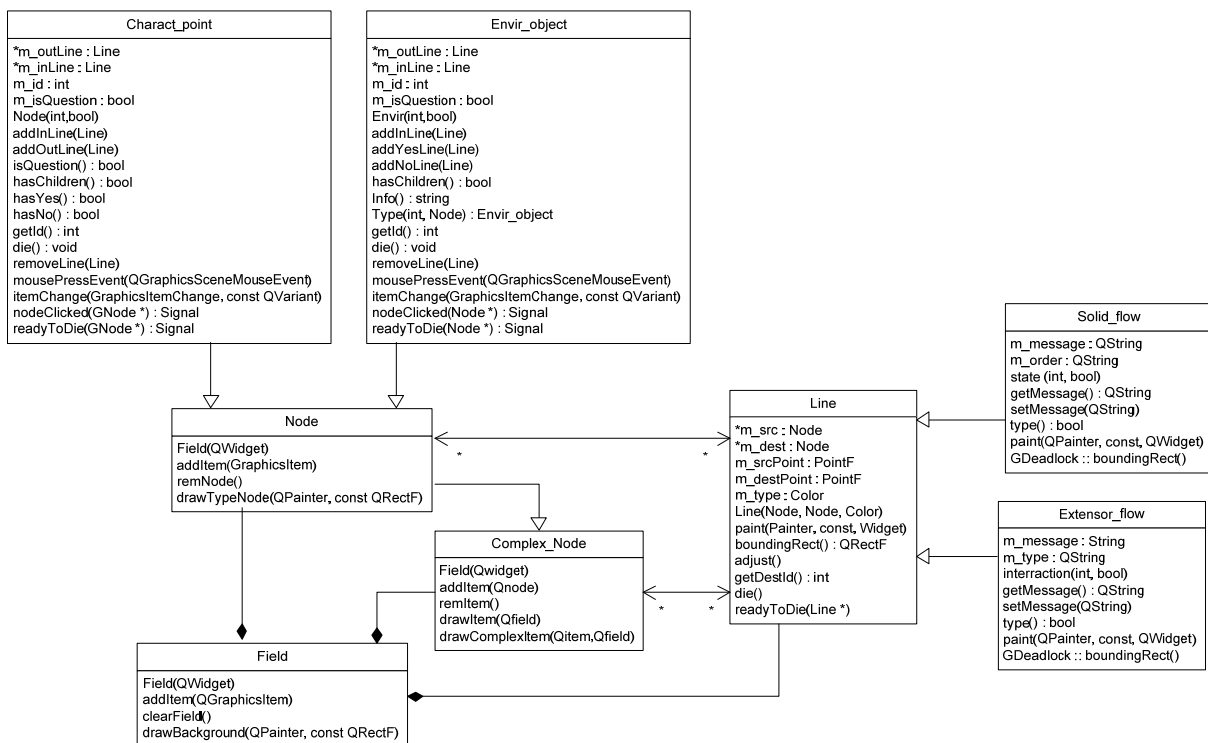


Рис. 2. Диаграмма классов автоматизированной системы

Как видно из диаграммы, классы, описывающие характерные точки (class Charact_point) и объекты окружения (class Envir_object), являются дочерними классами класса Точка (class Node), а классы потоков экстенсоров (class Extensor_flow) и рабочего тела (class Solid_flow) – потомками класса Линия (class Line). Поскольку в одной и той же характерной точке рабочее тело может находиться в нескольких состояниях, то класс Точка (class Node) является дочерним для класса Комплексная вершина (class Complex_Node). Однако на рабочем поле класс Node, как и его класс-предок Complex_Node, является композицией класса Field, представ-

ляющей собой рабочую область построения графа ФПД. Классы Линия (Line) и Точка (Node) также служат композицией класса Field.

Следует отметить, что классы Node и Complex_Node взаимодействуют с классом Line. Это означает, что у классов вершин и линии в системе есть полная информация друг о друге. Это существенно упрощает работу с построением модели ФПД и ее дальнейшего анализа.

Автоматизированная система должна частично заменить инженера при обработке данных по синтезу новых технических решений на основе построенной модели ФПД. При этом ставится задача, чтобы она имела интеллекту-

альный характер, обладала способностью достигать высокого качества формируемых решений, а также обучаться и объяснять свои решения. Другими словами, необходимо рассматривать задачу проектирования системы построения модели ФПД как проектирование экспертной системы.

Для разработки системы построения модели ФПД как интеллектуальной системы необходимо выбрать модель представления знаний в базе знаний, которая определяет архитектуру, возможности и свойства системы. В настоящее время известен ряд базовых моделей представления знаний и их модификаций – это представление с помощью фактов и правил, исчисления предикатов, нейронные сети, семантические сети, фреймы.

С учетом данных, встречающихся в различных источниках, можно предложить следующий перечень критериев оценки моделей представления знаний: уровень сложности, универсальность представления знаний, естественность и наглядность представления знаний при использовании, способность модели к обучению, размерность модели по объему памяти, необходимому для хранения элемента модели, удобство разработки системы на основе модели.

Одним из объектов проектируемой системы построения модели ФПД является Характерная точка (Charact_point), которая обладает таким свойством как «Info», которое задает пользователь системы. Это вербальное описание места, в котором рабочее тело находится в определенном состоянии. Также существуют другие свойства этого объекта: «Condition», «Line», «Info». Все они представляет из себя вербальные описания различных процессов. В качестве моделей представления знаний были проанализированы логическая модель, продукционная модель, семантическая модель, фреймы и онтологии.

В результате комплексного анализа была выбрана модель онтологий в концепции семантической сети. Современные онтологии строятся по большей части одинаково, независимо от языка написания. Обычно они состоят из экземпляров, понятий, атрибутов и отношений.

Применительно к системе построения модели ФПД экземплярами будут являться простейшие элементы проектируемой конструкторской разработки, например, «топливо», «насос», «вентиль». В проектируемой системе построения модели ФПД понятиями будут являться описание потока рабочего тела либо

описание взаимодействия рабочего тела, например «Поток воздуха в рабочий цилиндр».

Объектами, очевидно, будут являться объекты, которые описывают классы вершин и дуг. Схема работы экспертной системы показана на рис. 3.



Рис. 3. Схема работы экспертной системы

Таким образом, структурированность знаний в базе знаний в виде модели онтологии имеет преимущества формального представления знаний для любого проектируемого конструкторского элемента, описанного инженером базы знаний вербальным языком. Для подобной модели представления знаний есть и недостатки, связанные с высокой сложностью описания объектов базы знаний в рамках определенной предметной области, а также квалификацией специалистов, проектирующих структуру объектов базы знаний и их взаимодействия между собой, в рамках решаемой задачи [7, 8].

Экспертная система функционирует в следующем циклическом режиме: выбор (запрос) данных или результатов анализов, наблюдения, интерпретация результатов, усвоение новой информации, выдвижение с помощью правил временных гипотез и затем выбор следующей порции данных или результатов анализов (рис. 3).

Такой процесс продолжается до тех пор, пока не поступит информация, достаточная для окончательного заключения.

Выводы. Описанная модель представления знаний является оптимальным инструментом для создания системы проектирования новых конструкторских изобретений как экспертной системы, позволяющей расширять область применения системы, использовать эвристики, что может быть полезным, когда недостаток необходимых знаний или времени исключает возможность проведения полного анализа [9, 10]. Обработать знания в экспертной системе,

описанные вербальным языком, можно не теряя качества результатов проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, А. А. О системном подходе к формированию множеств технических решений преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 7. – С. 44–50.
2. Яковлев, А. А. Метод построения моделей физических принципов действия преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 10. – С. 22–28.
3. Яковлев, А. А. Метод синтеза технических решений двигателей внутреннего сгорания на начальных стадиях проектирования / А. А. Яковлев // Двигателестроение. – 2005. – № 3 (221). – С. 26–31.
4. Яковлев, А. А. Системный подход к разработке новых двигателей / А. А. Яковлев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 12. – С. 13–17.
5. Камаев, В. А. Обучение концептуальному проектированию преобразователей энергии на базе системного под-

хода / В. А. Камаев, А. А. Яковлев // Открытое образование. – 2005. – № 5 (52). – С. 62–69.

6. Камаев, В. А. Моделирование физических принципов действия и формирование множеств технических решений преобразователей энергии / В. А. Камаев, А. А. Яковлев // Информационные технологии. – 2006. – № 1. – С. 2–8.

7. Яковлев, А. А. Инженерно-физический подход к проектированию преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Справочник. Инженерный журнал. – 2006. – № 2. С. 32–38.

8. Шевчук, В. П. Метод синтеза концептуальных технических решений преобразователей энергии / В. П. Шевчук, А. А. Яковлев // Промышленная энергетика. – 2006. – № 3. – С. 41–46.

9. Яковлев, А. А. Синтез моделей физического принципа действия преобразователей энергии с газообразным рабочим телом / А. А. Яковлев // Информационные технологии. – 2006. – № 3. – С. 23–28.

10. Яковлев, А. А. Синтез технических решений технологических газовых лазеров / А. А. Яковлев, Р. В. Лещенко // Известия ВолгГТУ : межвузовский сб. науч. ст. № 5(20) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»; вып. 3). – С. 14–16.

УДК 658.512.2

А. А. Яковлев, А. В. Чибисов, П. Е. Позднякова, С. В. Чурсина

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Описывается разработка технического решения устройства на основе использования инженерно-физического метода. Показана разработка модели физического принципа действия, осуществлен подбор конструктивных элементов и выбор технического решения автоматизированного устройства для охлаждения зоны резания.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, физический принцип действия, техническое решение, экспертная оценка.

Development of the technical decision of the device is described on the basis of use of an engineering-physical method. It is shown it is developed models of a physical principle of action, selection of constructive elements is carried out and the choice of the technical decision of the automated device for cooling a zone of cutting is carried out.

Keywords: Lubricant-cooling liquid, physical principle of action, the technical decision, expert estimation.

Выбор и применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) является одним из важных факторов повышения производительности труда при резании металлов. Однако большинство из них оказывают негативное воздействие на санитарно-гигиенические условия труда. Это приводит к необходимости воздерживаться от применения таких веществ. В связи с этим задача создания новых устройств, позволяющих улучшить экологическую обстановку на рабочем месте в цехе, является актуальной.

В работах [1, 2, 3] описывается метод синтеза технических решений преобразователей

энергии, который позволяет находить технические решения устройств с газообразным и жидким рабочим телом. В данной статье описывается применение этого метода для разработки устройства охлаждения рабочей зоны металло-режущего станка.

Исследования показали, что в процессе резания смазочно-охлаждающие воздействия производят не исходные компоненты СОТС, а продукты их распада – атомы и радикалы. Поэтому при резании металлов применяют СОТС с сильными окисляющими свойствами, например, озонированный воздух. Наибольшее повышение стойкости режущего инструмента обеспе-

чивается при воздействии на него технологической среды, содержащей молекулы озона. Этот метод хорошо зарекомендовал себя на практике, однако для его реализации требуется разработка конструкции соответствующего устройства. Для этого была разработана модель физического принципа действия (ФПД), по методике, описанной в работах [4, 5, 6]. Модель позволяет выявить характерные места взаимодействия смазывающего и охлаждающего компонентов с инструментом, деталью и стружкой, и подобрать конструктивные элементы, необходимые для реализации технического решения устройства охлаждения.

При разработке устройства использовалась методика синтеза моделей ФПД описанная в работах [4, 7]. В соответствии с этой методикой вершинами графа являются термодинамические системы в местах, где происходят взаимодействия с внешней средой. В процессе таких взаимодействий рабочее тело изменяет свое состояние. Это сопровождается отводом или подводом экстенсоров (факторов экстенсивности). Данные экстенсоры представляются на графе модели ФПД в виде дуг с острыми стрелками. Маршрут перемещения рабочего тела показан на графе дугами с тупыми стрелками. Путем использования эвристических приемов, изложенных в приложении к работе [8, 9], была разработана модель будущего устройства, показанная на рис. 1. На ней введены следующие обозначения:

1) *характерные точки*: v_1 – воздух в камере сжатия компрессора; v_2 – воздух в энергоразделительной камере вихревой трубы; v_3 – горячий воздух в ионизаторе; v_4 – ионизированный воздух на обрабатываемой поверхности детали; v_5 – холодный воздух в смесителе (эжекторе); v_6 – распыленная в воздухе жидкость на необрабатываемой поверхности детали;

2) *потоки рабочего тела*: i_1 – поток воздуха; i_2 – поток горячего воздуха из вихревой трубы; i_3 – поток холодного воздуха из вихревой трубы; i_4 – поток жидкости (воды); i_5 – поток ионизированного воздуха; i_6 – поток распыленной в воздухе жидкости;

3) *объекты окружения*: ИРТ₁ – источник воздуха (атмосфера); ИРТ₂ – источник жидкой среды; СРТ – сток рабочего тела (атмосфера); 300₁ – механический привод компрессора; 200₁ – источник электроэнергии; 200₂ – обрабатываемая поверхность детали; 200₃ – необрабатываемая поверхность детали;

4) *взаимодействия*: $e_1^{\text{мех}}$ – сжатие воздуха в компрессоре; $e_2^{\text{мех}}$ – расширение воздуха в камере вихревой трубы; $e_3^{\text{мех}}$ – воздействие струи холодного воздуха на жидкость в эжекторе; $e_1^{\text{эл}}$ – коронный разряд; $e_1^{\text{хим}}$ – химическое взаимодействие ионизированного воздуха с поверхностями детали; $e_1^{\text{теп}}$ – тепловое взаимодействие распыленной жидкости с деталью; $e_1^{\text{фаз}}$ – испарение воды с поверхности детали.

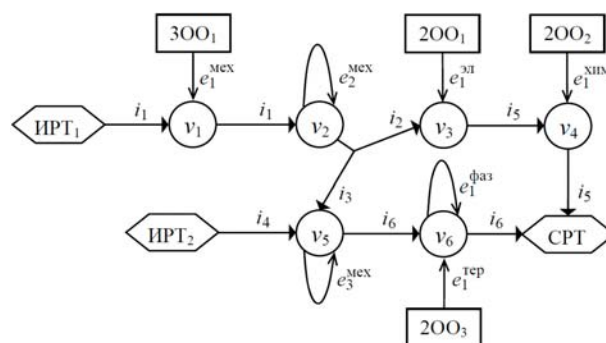


Рис. 1. Модель физического принципа действия устройства охлаждения зоны резания

Повышение эффективности обработки деталей на металлорежущем станке достигается за счет увеличения концентрации ионизированных частиц в составе СОТС и повышения эффективности охлаждения обрабатываемой детали. Поток ионизированного газа, подаваемого в зону резания имеет повышенную температуру и повышенную концентрацию ионизированных частиц, что способствует интенсификации процесса образования окисной пленки на ювенильных поверхностях обрабатываемой детали. Поток распыленной в воздухе жидкости, наоборот, имеет пониженную температуру (что способствует интенсификации отбора тепла) и подается на поверхность обрабатываемой детали, находящуюся в непосредственной близости от зоны резания. При этом распыленная жидкость, выполняя функцию отбора тепла с детали, не мешает активным частицам ионизированного газа эффективно взаимодействовать с ювенильными поверхностями обрабатываемой детали в зоне резания. На рис. 2 изображена схема устройства для охлаждения зоны резания металлорежущего станка.

Работа устройства для охлаждения зоны резания металлорежущего станка заключается в следующем. Сжатый воздух поступает в сопловой ввод вихревой трубы 1, в которой про-

исходит разделение подаваемого воздуха на горячий и холодные потоки. Горячий поток поступает в ионизатор 5. На электроды 6 и 7 подается высокое напряжение, под действием которого между ними возникает коронный раз-

ряд. В электрическом поле коронного разряда происходит ионизация горячего потока воздуха, который через сопло 9 направленной струей подается в зону резания металлорежущего станка.

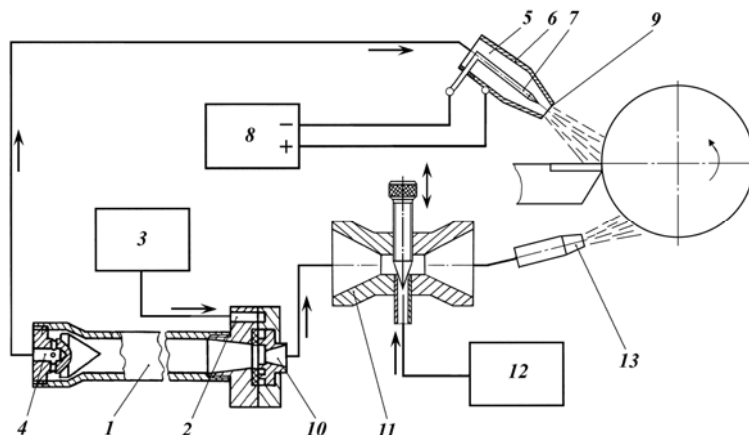


Рис. 2. Схема устройства для охлаждения зоны резания:

1 – вихревая труба; 2 – сопловой ввод; 3 – источник сжатого воздуха; 4 – патрубок вывода горячего потока; 5 – ионизатор; 6 – положительный электрод; 7 – игольчатый отрицательный электрод; 8 – электрический источник питания; 9 – сопло подачи ионизированного газа; 10 – патрубок вывода холодного потока; 11 – эжектор; 12 – источник жидкой среды; 13 – сопло подачи распыленной жидкости

Воздух, выходящий из патрубка холодного потока, подается в эжектор 11. Струя воздуха с высокой скоростью обтекает внутреннюю полость эжектора и за счет разрежения в нее всасывается жидкость из источника жидкой среды 12. В струе воздуха происходит распыление жидкости. Распыленная жидкость через сопло 13 подается на поверхность детали в непосредственной близости от зоны резания таким образом, чтобы она не мешала ионизированному газу из сопла 9 попадать в зону резания.

Ионизированный газ, содержащий ионы кислорода, азота и их производных, поступает в зону резания металлорежущего станка. Повышенная концентрация ионизированных частиц в ней обеспечивается за счет более высокой температуры и низкой относительной влажности воздуха, поступающего из патрубка горячего потока в ионизатор. Охлаждение детали обеспечивается распыленной жидкостью, получаемой на выходе из эжектора 11 и имеющей пониженную температуру за счет ее охлаждения воздухом, поступающим из патрубка холодного потока 10 вихревой трубы 1.

Такое конструктивное решение позволяет в зоне обработки размещать два небольших по габаритам сопла для подачи ионизированного газа и распыленной жидкости. Тем самым уменьшаются габариты той части устройства,

которая устанавливается в непосредственной близости от зоны резания, что позволяет повысить удобство при вспомогательных операциях – смена инструмента, загрузка и выгрузка деталей и т. п.

Была разработана экспериментальная установка. Основной целью эксперимента являлось определение средней температуры заготовки после ее токарной обработки при подаче в зону резания озонированного воздуха. Эксперименты проводились на токарно-винторезном станке 1К62. В качестве заготовки был использован прокат диаметром 80 мм и длиной 600 мм из стали 40Х.

Воздухо-водяная смесь подавалась к сопловому насадку через прорезиненный шланг с внутренним диаметром 5 мм. Такой трубопровод уменьшает конденсацию воды на его стенках вследствие своей несмачиваемости водой, что позволило получать более равномерный и однородный распыл охлаждающей жидкости. Другой воздушный поток, проходя через устройство, создающее коронный разряд на конце соплового насадка, обеспечивал подачу озонированного воздуха в зону резания.

Расход воды через сопло составлял 0,6... 0,7 кг/час. При непрерывном тчении прутка в течение одной минуты резцом Т15К6 в режиме черновой обработки (скорость резания $V =$

= 0,42 м/с, подача $S = 0,6$ мм/об, глубина резания $t = 1,5$ мм) средняя температура заготовки, замеренная с помощью термопары повысилась с 21 до 44 °С.

Метод охлаждения водяным туманом в сочетании со смазкой озонированным воздухом имеет следующие важные преимущества:

1. Появилась возможность осуществить охлаждение на тех операциях механической обработки, где обильное охлаждение падающей струей не может быть осуществлено. К ним относятся операции обработки чугуновых деталей, точение и фрезерование стальных деталей твердосплавными инструментами; обработка деталей на карусельных, радиально-сверлильных, строгальных, а также ряде агрегатных станков, фрезерование концевыми фрезами по разметке.

2. В связи с тем, что при использовании воды в распыленном состоянии ее расход невелик, то значительно улучшаются условия труда, то есть становится чище рабочее место, уменьшается содержание в воздухе вредных примесей (пыли, щелочи и масляного тумана).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевчук, В. П. Метод синтеза концептуальных технических решений преобразователей энергии / В. П. Шевчук, А. А. Яковлев // Промышленная энергетика. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
2. Камаев, В. А. Обучение концептуальному проектированию преобразователей энергии на базе системного подхода / В. А. Камаев, А. А. Яковлев // Открытое образование. – 2005. – № 5 (52). – С. 62–69.
3. Яковлев, А. А. О системном подходе к формированию множеств технических решений преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 7. – С. 44–50.
4. Яковлев, А. А. Методика проектирования преобразователей энергии на этапе разработки физического принципа действия / А. А. Яковлев // Справочник. Инженерный журнал. – 2006. – № 12. С. 21–25.
5. Яковлев, А. А. Синтез моделей физического принципа действия преобразователей энергии с газообразным рабочим телом / А. А. Яковлев // Информационные технологии. – 2006. – № 3. – С. 23–28.
6. Яковлев, А. А. Метод построения моделей физических принципов действия преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 10. – С. 22–28.
7. Яковлев, А. А. Формирование множеств концептуальных технических решений преобразователей энергии / А. А. Яковлев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5(20) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»; вып. 3). – С. 9–13.
8. Яковлев, А. А. Системный подход к разработке технических решений энергоустановок на начальных этапах проектирования / А. А. Яковлев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 2(17) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии»; вып. 2). – С. 120–123.
9. Яковлев, А. А. Автоматизация синтеза и выбора технических решений преобразователей энергии / А. А. Яковлев, Е. В. Яковлева // Информационные технологии. – 2010. – № 11. С. 71–78.
10. Пат. 2355548 Российская Федерация, МПК В 23 Q11/10. Устройство для охлаждения зоны резания металлорежущего станка / А. А. Яковлев, Е. В. Яковлева; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2007141417/02; заявл. 07.11.2007; опуб. 20.05.2009.

УДК 66.081.2:66.5

В. М. Яцук, О. А. Залипаева

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННОЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: pahp@vstu.ru

Описывается метод оптимального управления абсорбционной колонной с помощью микропроцессорного контроллера и SCADA-системы, обеспечивающей вычисление целевой функции оптимизации.

Ключевые слова: абсорбция, абсорбционная колонна, микропроцессорный контроллер, SCADA-система, оптимальное управление.

The method of optimum control of an absorbing column by means of the microprocessor controller and the SCADA-system providing calculation of criterion function of optimization is described.

Keywords: absorption, absorbing column, the microprocessor controller, SCADA-system, optimum control.

При санитарной очистке производственных газовых выбросов, очистке промышленных газов от примесей широко используются абсорбционные колонны [1], целью управления работой которых является обеспечение заданной производительности по обрабатываемому ко-

личеству газа при получении максимально допустимого значения концентрации ключевого компонента в выходном потоке очищенного газа. При этом необходимо минимизировать энергозатраты на преодоление гидравлического сопротивления колонны [2].

Сбор и обработка данных технологического процесса выполняется микропроцессорным контроллером, контуры которого осуществляют контроль и регулирование соответствующих параметров. Настройки контуров определяются в результате расчета [3].

Соотношение расходов насыщенного газа (исходная газовая смесь) и абсорбента определяет гидродинамический режим работы колонны, от которого существенным образом зависит процесс массопередачи и степень очистки газа, а также гидравлическое сопротивление колонны [1].

Данное соотношение регулируется каскадной схемой в соответствии с контролируемыми концентрациями ключевого компонента в насыщенном и очищенном газе.

Сбор технологических данных с основных и вспомогательных контуров регулирования выполняется с помощью SCADA-системы.

Контроль технологического режима колонны осуществляется измерением гидравлического сопротивления колонны для газового потока, температуры и давления внутри нее.

Возможность интенсификации массопередачи ограничена ростом гидравлического сопротивления и «захлебыванием» колонны [1], поэтому необходимо обеспечить максимальную эффективность массообмена, не допуская существенного роста гидравлического сопротивления, и, соответственно, энергозатрат.

Каждый из регулируемых параметров y_i вызывает изменение контролируемой концентрации ключевого компонента Q на некоторую величину ΔQ .

В окрестности точки, характеризующей оптимальный режим работы колонны, необходимо выполнение условия

$$Q + \Delta Q \leq Q_{\max},$$

где Q_{\max} – максимально допустимое значение концентрации ключевого компонента в очищенном газе.

Значение ΔQ может быть представлено в виде

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n a_i y_i, \quad (1)$$

где i – номер регулируемого параметра, n – общее число регулируемых параметров, a_i – коэффициент.

Для каждого момента времени значение y_i измеряется контроллером и фиксируется SCADA-системой. Контроллер, согласно зало-

женным законам регулирования и параметрам настройки, вырабатывает управляющие воздействия по соответствующим контурам регулирования, а SCADA-системой решается линейная система уравнений (1) и находятся значения коэффициентов a_i для заданного временного промежутка.

В качестве целевой функции оптимизации технологического режима колонны F_{opt} принимаем удельные энергозатраты на преодоление гидравлического сопротивления колонны, отнесенные к поглощенному в единицу времени количеству ключевого компонента G_m

$$F_{opt} = \frac{\Delta P \cdot G}{G_m}, \quad (2)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление колонны, G – объемный расход насыщенного газа.

Расчет по формуле (2) ведется с соответствующим пересчетом концентраций и расходов (мольных в объемные).

Вычислительная процедура выполняется симплексным методом [4], параметры линейных уравнений (1) корректируются с помощью рекурсивной регрессии.

Оптимизация осуществляется только в окрестности замеренных, и рассчитанных в данный момент времени технологических параметров. Корректировка режима производится только при уменьшении значения F_{opt} и сохранении текущих значений параметров в пределах предусмотренных технологическим регламентом.

Предлагаемый метод оптимизации технологического режима работы абсорбционной колонны позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели производства, в составе которого используется абсорбционная очистка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
2. Шински, Ф. Управление процессами по критерию экономии энергии; пер. с англ. / Ф. Шински. – М.: Мир, 1981. – 392 с.
3. Мишта, П. В. Применение регуляторов в АСУТП. Выбор методики настройки и перспективы развития / П. В. Мишта, П. Г. Бызов, Е. В. Васильева // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 1(61) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 3). – С. 118–123.
4. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике. Кн. 2; пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгдел. – М.: Мир., 1986. – 320 с.

УДК 53.087

*В. М. Яцук, О. А. Залипаева***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ФУНКЦИЙ
ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**E-mail: pahp@vstu.ru

Описывается метод использования цифровых измерительных приборов с интерфейсом RS232c для экспериментального определения переходных функций объектов регулирования.

Ключевые слова: цифровой измерительный прибор, последовательный интерфейс, переходная функция, объект регулирования.

The method of use of digital measuring devices with interface RS232c for experimental determination of transitive functions of objects of regulation is described.

Keywords: the digital measuring device, the consecutive interface, transitive function, object of regulation.

Для изучения динамических характеристик реальных объектов регулирования применяется экспериментальное определение переходных функций путем внесения возмущений и регистрации отклика на них [1].

Подобный метод, осуществляемый снятием кривых отклика на различные виды возмущений, также используется при исследовании структуры потоков в различных технологических аппаратах [2, 3].

При регистрации выходного сигнала с объекта в качестве датчиков обычно применяются различные виды резистивных, емкостных или индуктивных датчиков и преобразователей [4, 5]. Измерение выходного сигнала таких устройств может осуществляться с помощью цифровых измерительных приборов – измерителей RLC, имеющих один из интерфейсов RS232c или USB, позволяющих осуществить сопряжение прибора с персональным компьютером.

Применение измерительного прибора позволяет просто осуществить калибровку измерительной системы с учетом реальных значений измеряемого физического параметра и соответствующей ему регистрируемой электрической величины (сопротивления, емкости, индуктивности).

Один из вариантов реализации предлагаемой измерительной системы состоит из датчика, подключенного к измерителю RLC, который соединяется с компьютером соответствующим интерфейсным кабелем.

С помощью компьютера осуществляется непрерывная регистрация измеряемого параметра.

Имеются недорогие измерители, например, E7-20, E7-21, E7-23, E7-24, MS5300 (интерфейс RS232c), E7-25 (интерфейс USB), в комплектацию которых входят интерфейсные кабели и соответствующее программное обеспечение.

Многие современные компьютеры и ноутбуки не имеют интерфейса RS232c, который считается уже устаревшим. В этом случае подключение измерительного прибора производится через отдельный контроллер с портами RS232, устанавливаемый дополнительно в настольный компьютер, или через карту расширения RS232c для ноутбука в форм-факторе PCcard (PCMCIA) или ExpressCard.

Также возможно подключение приборов к USB портам компьютера (ноутбука, нетбука) с помощью переходников RS232-USB. При этом необходима установка соответствующих драйверов, которые обычно входят в комплект поставки переходников.

В качестве программного обеспечения для визуализации непрерывной записи данных целесообразно использовать программное обеспечение, входящее в комплект измерительного прибора.

Возможна также самостоятельная разработка интерфейса на основе программного продукта LabVIEW (www.ni.com) [6].

Если драйвер и программная оболочка для визуализации данных, передаваемых с измерительного прибора, предназначены для работы в операционной системе Windows 98, 2000, XP или одной из версий Linux, а на компьютере установлена операционная система Windows 7, то выполнение программы производится в режиме эмуляции Windows XP или на компьютере устанавливается одна из программ виртуализации, например, VirtualBox (www.virtualbox.org), Virtual PC (www.microsoft.com) или VMware Player (www.vmware.com), и в ее среде запускается операционная система, для которой имеются драйверы и программная оболочка измерителя.

Регистрируемые данные представляются в графическом виде на экране и могут быть сохранены в табличной форме для последующей обработки.

Предпочтительнее использовать данный метод при работе прибора в режиме измерения сопротивления. Также следует учитывать, что для большинства измерителей RLC время выборки значений составляет более 0,5 с, поэтому его можно применять при изучении относительно медленных динамических процессов.

При исследовании структуры потоков в технологических аппаратах и регистрации отклика на динамические возмущения необходимо, чтобы среднее время пребывания технологического потока было на порядок больше времени выборки значений.

Применение предлагаемой аппаратной реализации измерительной системы в составе экспериментальных установок позволяет обеспечить простую и надежную визуализацию и непрерывную фиксацию переходных функций датчиков, преобразователей и технологических объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Практикум по автоматике и системам управления производственными процессами: учеб. пособие для вузов / под ред. И. М. Масленникова. – М.: Химия, 1986. – 336 с.
2. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969. – 624 с.
3. Голованчиков, А. Б. Моделирование структуры потока в неизотермических реакторах вытеснения / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Н. Г. Кокорина // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1(61) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 3). – С. 82–86.
4. Олевский, В. М. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура / В. М. Олевский, В. Р. Ручинский, А. М. Кашников, В. И. Чернышев. – М.: Химия, 1988. – 240 с.
5. Ящук, В. М. Экспериментальная установка для исследования работы жидкостно-газового струйного аппарата / В. М. Ящук, Д. А. Козлов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11(37) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 1). – С. 5–8.
6. Тревис, Дж. LabVIEW для всех; пер. с англ. Н. А. Клушин / Дж. Тревис. – М.: ДМК Пресс: ПриборКомплект, 2004. – 544 с.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
Волгоградского государственного технического университета
№ 13(100), 2012 г.

Серия «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»
(Выпуск 8)

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Н. Н. Кваша*
Компьютерная верстка *Е. В. Макаровой*

Темплан 2012 г. Поз. № 7н.
Подписано в печать 22.11.2012. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,81. Уч.-изд. л. 15,67.
Тираж 150 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет.
400005 Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.
400005 Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

В сборнике научных статей «Известия ВолгГТУ», серии «Прогрессивные технологии в машиностроении» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований и представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области прогрессивных технологий в машиностроении.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редакция направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.