

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ

ВОЛГОГРАДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Выпуск 11

№ 8 (135)

Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г.

2014



Волгоград
2014

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»

президент 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 ВолГАСУ, В. М. Шулячкер, г. Волжский
д-р техн. наук, проф., зав. каф. СИ Ю. И. Сидякин, г. Волгоград
д-р техн. наук, проф., зав. каф. НГ и КГ Г. В. Ханов, г. Волгоград
д-р техн. наук, проф., руководитель ИЛ ВолгГТУ 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. Паишков, 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. № 8 (135) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – 96 с. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 11).

ISBN 978-5-9948-1477-2

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

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

Ил. 76. Табл. 10. Библиогр. : 144 назв.

ISBN 978-5-9948-1477-2

© Волгоградский государственный
технический университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ананьев А. С., Скоморохов Д. С.

- Исследование процесса нарезания наружных резьб резцом
за один проход на токарном станке с ЧПУ..... 5

Бондарев А. А., Азаматов А. П., Отений Я. Н., Солодков В. А.

- Повышение эффективности токарной обработки конструкционных
углеродистых и легированных сталей при использовании
опережающего пластического деформирования..... 7

*Бондарев А. А., Козачухненко И. Н., Ислямгалиев А. И., Ингеманссон А. Р.,
Крайнев Д. В.*

- Влияние обработки с опережающим пластическим деформированием
на стойкость лезвий режущего инструмента..... 11

Бржозовский Б. М., Зинина Е. П., Мартынов В. В., Плешакова Е. С.

- Определение параметров дефектов инструмента,
модифицированного воздействием низкотемпературной плазмы..... 13

Быков Ю. М., Бугрова М. С.

- Обеспечение конкурентоспособности производства..... 17

Голованов В. К., Елхов В. В.

- Конструкция бескорпусного датчика силы..... 18

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

- Исследование охватывающего кольца с роликами
для упрочнений радиуса впадины резьбы..... 20

Зинина Е. П.

- Основные предпосылки формирования диссипативных структур
при модификации режущего инструмента в низкотемпературной плазме..... 23

*Курсин О. А., Егоров Н. И., Кожемякин И. Ф., Филатов И. С., Као С. Ч.,
Акинола А. Д.*

- Исследование влияния основных параметров процесса наводораживания
поверхности на ее качество при финишной абразивной обработке..... 25

Липатов А. А.

- Исследование перехода от взаимодействия с пластическим контактом
к пластическому и вязкому контакту при обработке аустенитной стали..... 28

Мартынов В. В., Плешакова Е. С.

- База знаний автоматизированной системы оценивания качества
процесса эксплуатации модифицированного инструмента..... 31

Сенякина А. С., Банников А. И., Макарова О. А.

- Анализ и выявление причин выхода из строя оправок прошивного стана..... 33

Сидякин Ю. И., Маклецов В. Л.

- Отделочно-упрочняющая механическая обработка
крупных трапецеидальных резьб..... 35

Фролов Е. М., Солдатова М. А.

- Методика оценки качества прикладного программного обеспечения
технического назначения..... 37

Чигиринский Ю. Л., Чигиринская Н. В., Качалова Л. А.

- Структура электронной таблицы для построения многофакторных
регрессионных моделей..... 39

Переладов А. Б., Камкин И. П.

- Определение статистических показателей геометрических
параметров микрорезания при шлифовании..... 42

Курченко А. И., Кормилицин С. И., Стребков И. А.

- Влияние скорости резания на механизм циклического стружкообразования
и вид контактного взаимодействия при точении α -титанового сплава..... 46

Солодков В. А.

- Стружкообразование и контактное взаимодействие при выходе..... 49

Часть 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Алехин А. Г., Стекачев Д. С., Бондарев Е. М.</i> Автоматизированное построение маршрутного технологического процесса обработки корпусных деталей при помощи производственных моделей.....	53
<i>Барabanов Г. П., Барabanов В. Г., Добрынин Ф. Г.</i> Устройство для автоматизированной поверки датчиков давления.....	57
<i>Волков И. В., Богданова А. В., Макаров А. М.</i> Роботизированная система для переработки органических отходов культуры калифорнийских (кольчатых) червей.....	60
<i>Кесоян А. Г., Кремлева Н. Г.</i> Автоматизированное комплектование прецизионных деталей в соединения.....	62
<i>Крылов Е. Г., Сердобинцев Ю. П., Макаров А. М., Козловцева Н. В.</i> Функциональное моделирование процесса выбора режущего инструмента....	64
<i>Крылов Е. Г., Сердобинцев Ю. П., Мишкевич А. Б., Литвинцева В. В.</i> Автоматизированная система выбора технологических решений для оборудования с ЧПУ.....	67
<i>Кулагин Р. Н., Федорова Н. В., Сулейманов Д. А.</i> Анализ средств контроля поверхностных дефектов при пластической обработке крупногабаритных изделий.....	69
<i>Кухтик М. П., Сердобинцев Ю. П., Макаров А. М.</i> Алгоритм оптимизации процесса нагрева слябов в методической печи.....	73
<i>Макаров А. М., Сердобинцев Ю. П., Крылов Е. Г., Волков И. В.</i> Система управления устройством для автоматического наполнения гибких контейнеров.....	75
<i>Матлин М. М., Казанкина Е. Н., Казанкин В. А., Куликова М. А.</i> Определение контактной жесткости стыка деталей равной твердости.....	78
<i>Поступаева С. Г., Грязнов И. Е.</i> Построение нечеткой модели регулирования кондиционированием воздуха в помещении.....	81
<i>Суров Л. Д., Суров И. Л., Филиппов В. В.</i> Запрет автоматического повторного включения вводных выключателей шин двухтрансформаторной подстанции.....	85
<i>Суров Л. Д., Филиппов В. В.</i> Контроль отключения и отказа автоматического повторного включения головного выключателя линии.....	88
<i>Чан К. Т., Измайлов А. Д., Кристалль М. Г.</i> Компьютерное моделирование процесса автоматического ориентирования стержневых деталей в щелевых вибрационных устройствах.....	91

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.993.2

А. С. Ананьев, Д. С. Скоморохов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ НАРУЖНЫХ РЕЗЬБ РЕЗЦОМ ЗА ОДИН ПРОХОД НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: anmir@vstu.ru, СКОМОРОХОВ@yandex.ru

Произведено исследование процесса нарезания наружной резьбы за один проход на токарном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3 с различными скоростями резания (20,30,40,50,60,70,80,90,100 м/мин) при обработке стали 45.

Ключевые слова: резьба, скорость резания, шероховатость.

The research on the process of threading a single pass on a lathe with CNC 16K20F3 with different cutting speeds (20,30,40,50,60,70,80,90,100 m / min) by treatment steel St45.

Keywords: carving, cutting speed, surface roughness.

В настоящее время существующая технология нарезания наружной резьбы резцом предусматривает несколько проходов. Число проходов зависит от обрабатываемого материала и шага нарезаемой резьбы [1]. Рекомендуемые скорости резания, согласно справочной литературе [2], составляют 10–16 м/мин. Из теории резания известно, что при данных скоростях происходит наиболее интенсивно процесс наростообразования, что в значительной степени снижает качество нарезаемой резьбы.

С целью решения данной задачи авторами проведены исследования процесса нарезания наружной резьбы за один проход на токарном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3 с различными скоростями резания при обработке стали 45. Резьбы нарезались с шагом 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 мм. В качестве инструмента использовали резьбовые пластины марки Sandvik Coromant (рис. 1).



Рис. 1. Пластина для нарезания метрической наружной правой резьбы марки Sandvik Coromant

Пример маркировки пластины: 266RG-16MM01A250M 1125.

Расшифровка по стандартам ISO показывает, что используются пластины из материала T15K6, размер пластины 16 мм, пластина для нарезания наружной правой метрической резьбы с полным профилем 60° и шагом 2,5 мм.

Геометрические параметры профиля нарезаемой резьбы контролировались с помощью микроскопа БИМ-21. Контроль высоты микронеровности профиля резьбы осуществлялся визуально и тактильно с помощью образцов шероховатости, представленных на рис. 2.

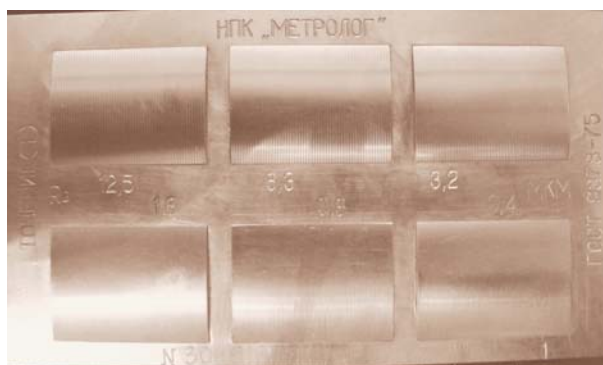
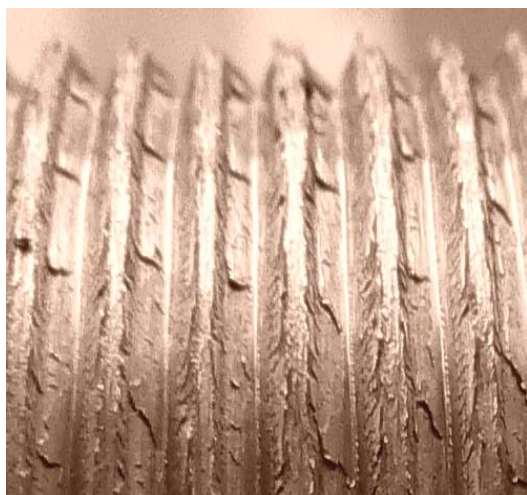


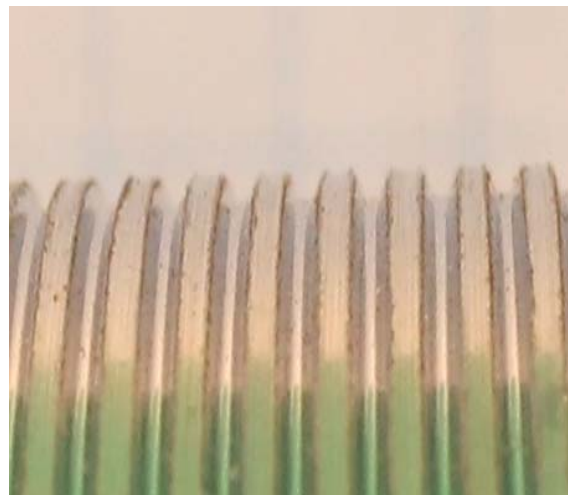
Рис. 2. Образцы шероховатости по ГОСТ 9378–75

Геометрические параметры профиля получаемой резьбы соответствовали требованиям класса точности 6g, шероховатость для данного класса резьбы должна соответствовать Ra6.3.

Как показали результаты исследования, скорость резания оказывает существенное влияние на шероховатость профиля резьбы (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Скорость резания:
а – $V_{\text{рез}} = 20$ м/мин; б – $V_{\text{рез}} = 100$ м/мин

На рис. 4 представлен обобщенный график зависимости шероховатости от скорости резания для всех шагов при обработке стали 45.

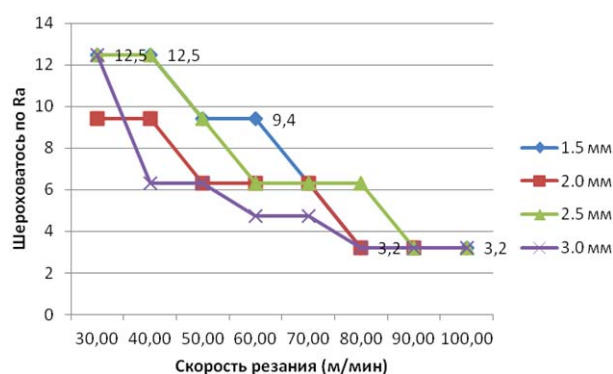


Рис. 4. Обобщенный график зависимости шероховатости от скорости резания для всех шагов при обработке стали 45

Из графика видно, что качество профиля резьбы улучшается с увеличением шага резьбы. При скорости резания 60 м/мин резьба с шагом 2,5 мм имеет профиль шероховатости Ra6,3. При достижении скорости резания более 80 м/мин у всех исследуемых шагов резьб (за исключени-

ем 2,5 мм) шероховатость профиля находится в пределах Ra3,2.

В результате проведенных исследований установлено, что нарезать наружные крепежные резьбы резцом по стали 45 на станках с ЧПУ возможно за один проход со скоростью резания 80...100 м/мин. При этом повышается производительность данной операции в несколько раз в зависимости от шага нарезаемой резьбы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грановский, Г. И. Резание металлов : учеб. для машиностроения и приборостроения спец. вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.
2. Режимы резания металлов: Справочник. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.
3. Плотников, А. Л. Способы регулирования точности при обработке нежестких валов на токарных станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, А. А. Шмаров, Д. С. Ключиков // Известия ВолГГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(100) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 8). – С. 39–43.
4. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.

УДК 621.91.01

А. А. Бондарев, А. П. Азаматов, Я. Н. Отений, В. А. Солодков

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alexander_bondarev@mail.ru

Выполнено комплексное исследование явлений сопровождающих резание конструкционных углеродистых и легированных сталей с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности. Экспериментально установлено снижение сил резания, усадки стружки, износа режущего инструмента, повышение качества поверхности и производительности точения при использовании ОПД.

Ключевые слова: точение, силы, шероховатость, износ, стойкость, режущий инструмент, опережающее пластическое деформирование (ОПД), конструкционная сталь.

Completed complex research of phenomena accompanying the cutting of structural carbonaceous and alloyed steels at turning with advancing plastic deformation (APD) of the surface to be machined is created. By experiment established: the decrease of cutting forces, shavings shrinkage, wear of cutting tool, increase the surface quality and productivity by using turning APD.

Keywords: turning, cutting, forces, wear, lifetime, cutting tool, roughness, advancing plastic deformation (APD), structural steel.

Конструкционные стали широко применяются в машиностроении для изготовления ответственных деталей машин, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости и качества поверхности. Повышение производительности обработки точением конструкционных сталей является актуальной задачей.

Повышение эффективности процесса реализуется за счет применения 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 срез упрочненного металла в виде стружки.

Экспериментальные исследования выполнялись для полустогового и чистового точения конструкционных углеродистых и легированных сталей 20ХН, 20, 30ХМА в контактных парах с режущим инструментом марки ВК6, Т15К6, ТН20. Измерения сил резания произво-

дились посредством динамометра DKM 2010 («TeLC», Германия), интегрированного с ПК. Изучение изнашивания поверхностей режущих СМП выполнялось на большом инструментальном микроскопе БМИ-1. Для определения режима осуществления ОПД использовалась характеристика комбинированной обработки – «коэффициент ОПД»:

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

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

Был установлен характер влияния глубины наклепа на повышение эффективности обработки. С повышением степени деформации происходит снижение сил резания и коэффициента продольной усадки стружки, повышение качества получаемой поверхности, а затем, с увеличением степени деформации, происходит снижение эффективности обработки (рис. 1–3).

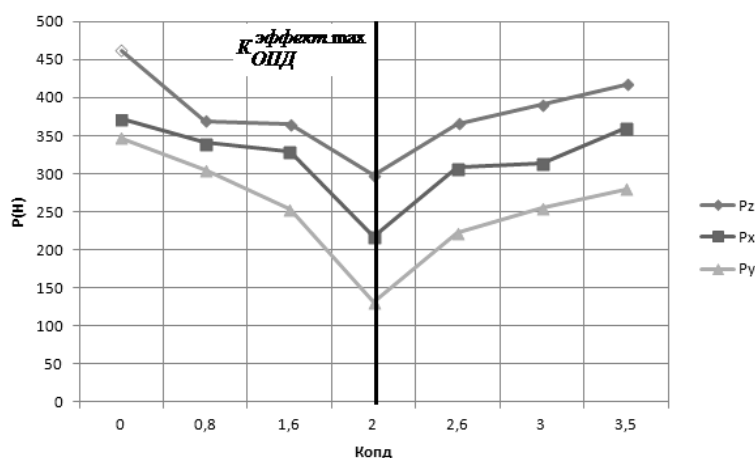


Рис. 1. Значения тангенциальной, радиальной и осевой составляющих сил резания при традиционном точении и точении с ОПД при различных значениях $K_{\text{ОПД}}$ (Сталь 20 – твердый сплав Т15К6, $v = 90$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об, $t = 1$ мм. При $K_{\text{ОПД}} = 0$ – традиционное точение)

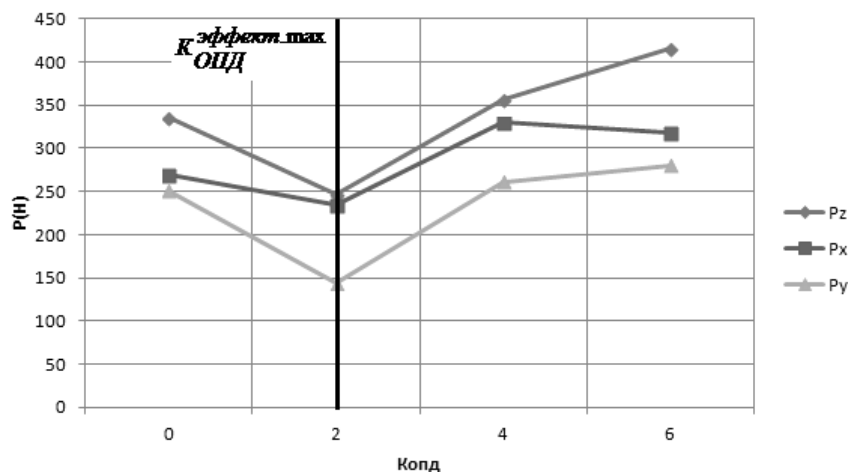


Рис. 2. Значения тангенциальной, радиальной и осевой составляющих силы резания при традиционном точении и точении с ОПД при различных значениях $K_{\text{ОПД}}$ (Сталь 30ХМА–твердый сплав Т15К6, $v = 90$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об, $t = 1$ мм. При $K_{\text{ОПД}} = 0$ – традиционное точение)

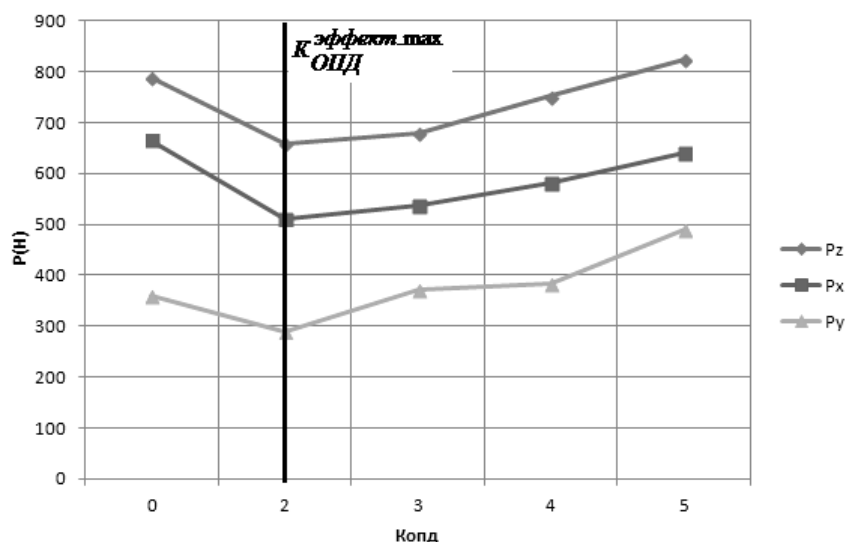


Рис. 3. Значения тангенциальной, радиальной и осевой составляющих силы резания при традиционном точении и точении с ОПД при различных значениях $K_{\text{ОПД}}$ (Сталь 20ХН–твердый сплав Т15К6, $v = 90$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об, $t = 1$ мм. При $K_{\text{ОПД}} = 0$ – традиционное точение)

Снижение коэффициента продольной усадки стружки при использовании ОПД косвенно свидетельствует о снижении сопротивления кон-

тактному течению прирезцовых слоев стружки, находящихся под воздействием контактного пластического деформирования (табл. 1).

Таблица 1

Значения коэффициента продольной усадки стружки

Режимы и условия обработки	Традиционное точение	Точение с ОПД
Сталь 20ХН – твердый сплав ВК6; $t = 0,5$ мм; $v = 180$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 1$	2,00	1,77
Сталь 20 – твердый сплав ВК6; $t = 0,5$ мм; $v = 135$ м/мин; $s_o = 0,147$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 1,8$	2,95	2,51
Сталь 30ХМА – твердый сплав Т15К6; $t = 1$ мм; $v = 90$ м/мин; $s_o = 0,256$ мм/об. При обработке с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 2$	2,63	2,17

Применение ОПД обрабатываемой поверхности позволяет повысить стойкость режущего инструмента по критерию максимально допустимого размера площадки износа по задней поверхности h_3 (0,3 мм). Снижение давлений, действующих на рабочие поверхности инструмента (рис. 1–3) способствует ослаблению пластического деформирования режущего клина.

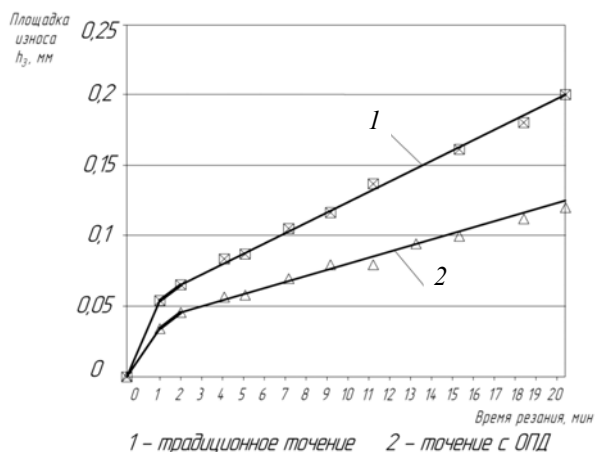


Рис. 4. Зависимость размера площадки износа по задней поверхности резца от времени работы (Сталь 30ХМА – твердый сплав Т15К6, $t = 1$ мм; $v = 90$ м/мин; $s = 0,256$ мм/об. При точении с ОПД $K_{опд} = 2$)

На графиках (рис. 4, 5) заметно существенное снижение интенсивности затупления инструмента во время фазы нормального изнашивания при точении с ОПД: угол наклона участка кривой нормального износа меньше по сравнению с традиционной обработкой, что обуславливает увеличение периода стойкости твердосплавных СМП.

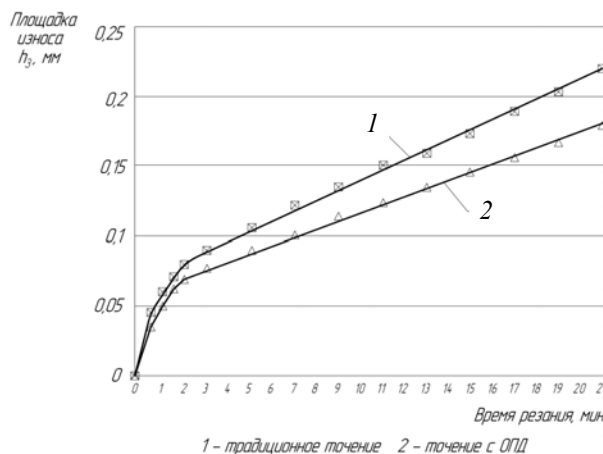
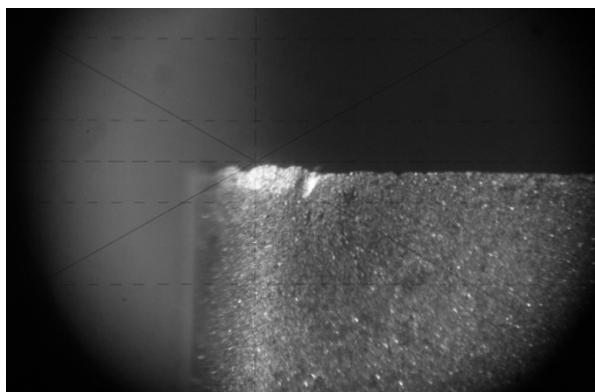
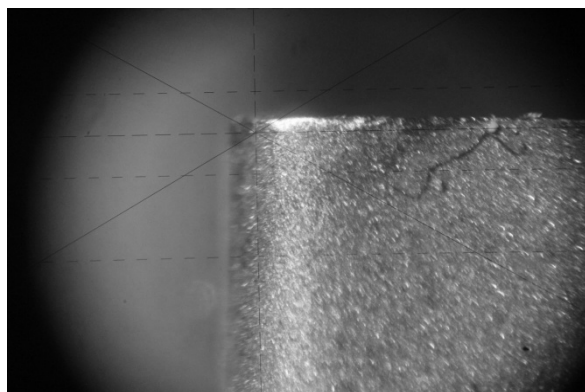


Рис. 5. Зависимость размера площадки износа по задней поверхности резца от времени работы (Сталь 20 – твердый сплав ВК6, $t = 1$ мм; $v = 135$ м/мин; $s = 0,166$ мм/об. При точении с ОПД $K_{опд} = 2$)



а



б

Рис. 6. Вид режущей пластины со стороны главной задней поверхности: а – традиционное точение; б – точение с ОПД ($K_{опд}=2$) (Сталь 30ХМА – твердый сплав Т15К6; $t = 1$ мм, $v = 90$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об)

Из рис. 6, а, соответствующего традиционному точению, отчетливо виден больший размер площадки износа на главной задней поверхности резца по сравнению с режущей пластиной после точения с ОПД (рис. 6, б).

Благоприятное изменение физических процессов в зоне резания способствует улучшению параметров шероховатости обработанной поверхности. При точении с ОПД происходит снижение значений среднего арифметического отклонения профиля R_a по сравнению с тради-

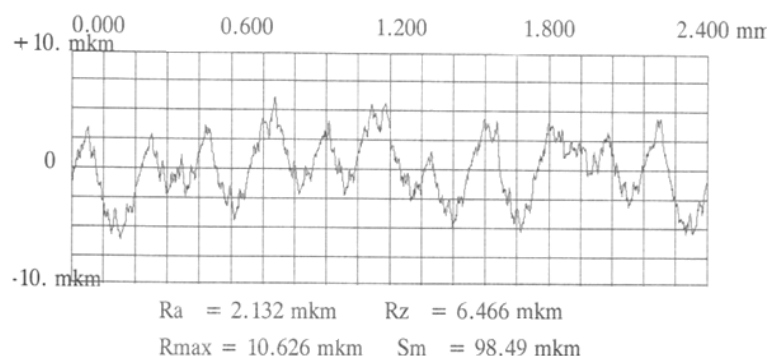
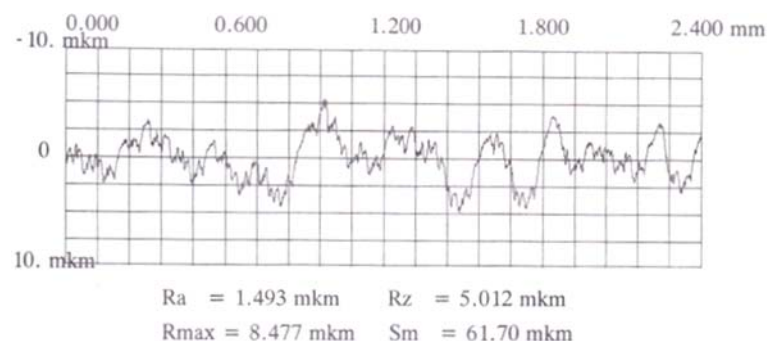
ционной обработкой (табл. 2).

Об улучшении качества обработанной поверхности при использовании ОПД также свидетельствуют профилограммы получаемых поверхностей (рис. 7, 8). По полученным профилограммам можно сделать вывод, что высота микронеровностей ниже и их профиль более стабильный при точении с ОПД. Это обуславливает повышение эксплуатационных характеристик деталей. Выявлены резервы существенного повышения производительности процесса обработки.

Таблица 2

Значения среднего арифметического отклонения профиля Ra поверхности, обработанной точением

Режимы и условия обработки	Ra, мкм		Снижение при точении с ОПД по сравнению с традиционным точением, %
	Традиционное точение	Точение с ОПД	
$v = 135$ м/мин; $s_o = 0,083$ мм/об; $t = 0,5$ мм; сталь 20ХН – твердый сплав ВК6. При точении с ОПД $K_{ОПД} = 1$	3,3	2,1	36
$v = 135$ м/мин; $s_o = 0,083$ мм/об; $t = 0,5$ мм; сталь 20 – твердый сплав ВК6. При точении с ОПД $K_{ОПД} = 1,8$	2,9	1,7	41

Рис. 7. Микропрофиль поверхности, обработанной традиционным точением (Сталь 20ХН – твердый сплав Т15К6, $t = 0,5$ мм, $v = 180$ м/мин, $s = 0,083$ мм/об)Рис. 8. Микропрофиль поверхности, обработанной точением с ОПД (Сталь 20ХН – твердый сплав Т15К6, $t = 0,5$ мм, $v = 180$ м/мин, $s = 0,083$ мм/об, $K_{ОПД} = 1$)

Таким образом, резание с ОПД является комплексным способом повышения эффективности точения конструкционных углеродистых и легированных сталей. Применение ОПД обеспечивает комплексное повышение эффективности процесса точения, снижая температурно-силовую напряженность съема припуска и контактного взаимодействия, тем самым способствуя снижению составляющих сил резания, износа режущего инструмента, повышению качества получаемых поверхностей и производительности операций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2399460 РФ. МПК В 23 В 1/00. Способ обработки деталей резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Поляничков, 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; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26. – 6 с.
2. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.

УДК 621.91.01

А. А. Бондарев, И. Н. Козачухненко, А. И. Ислямгалиев, А. Р. Ингеманссон, Д. В. Крайнев

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ НА СТОЙКОСТЬ ЛЕЗВИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: krainevdy@mail.ru

В работе приводятся результаты стойкостных испытаний режущего инструмента при обработке конструкционных углеродистых и легированных сталей с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности. Обнаружено, что при точении с ОПД достигается существенное снижение износа лезвий режущего инструмента по главной задней поверхности, тем самым повышается производительность обработки и ресурс работоспособности инструмента по сравнению с традиционной обработкой.

Ключевые слова: точение, износ, стойкость, режущий инструмент, опережающее пластическое деформирование.

In this paper proposed results lifetime testing of cutting tool with machining structural carbonaceous and alloyed steels at turning with advanced plastic deformation (APD) of the surface to be machined is created. Established that turning with APD obtain integral wear reduction of side flank cutting tool blade, thus, increase efficiency of machining and operational integrity of tool in comparison with traditional turning.

Keywords: turning, wear, lifetime, cutting tool, advanced plastic deformation (APD).

Для повышения эффективности процессов механической обработки рост износостойкости режущего инструмента является актуальной задачей. Повышение ресурса работоспособности режущего инструмента ведет к снижению затрат на изготовление продукции. Стойкость лезвий накладывает свои ограничения при выборе режимов резания. Вынужденное занижение режимов резания ведет к потере производительности выполняемых операций. Кроме этого, повышение стойкости и формоустойчивости рабочих поверхностей режущего инструмента позволяет улучшить качество выпускаемой продукции и сократить затраты времени на подналадку в процессе обработки.

Исследование износостойкости режущего инструмента при точении с опережающим пластическим деформированием (ОПД) показало существенное повышение эффективности процесса по сравнению с традиционной обработкой. ОПД по обрабатываемой поверхности [1] совмещает в себе два приема – поверхностное пластическое деформирование и последующий сьем части упрочненного металла в виде стружки.

Для определения режима осуществления ОПД использовалась характеристика комбинированной обработки – «коэффициент ОПД» [4]:

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

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

Исследования проводились для углеродистой стали 20 и конструкционной жаропрочной

релаксационностойкой стали 30ХМА в контактных парах с режущим инструментом марки ВК6, Т15К6, ТН20. Изучение изнашивания поверхностей режущих СМП выполнялось на большом инструментальном микроскопе БМИ-1.

На рис. 1, 2 представлены зависимости роста площадки износа h_z по главной задней поверхности резцов от времени работы. На кривых следует выделить участки приработки – интенсивного изнашивания новой режущей кромки, вступившей в работу, и нормального изнашивания – относительно стабильного функционирования лезвия во времени до достижения заданной величины износа h_z . Таким критерием в исследовании принимался размер фаски износа, значение которого составляло 0,3 мм.

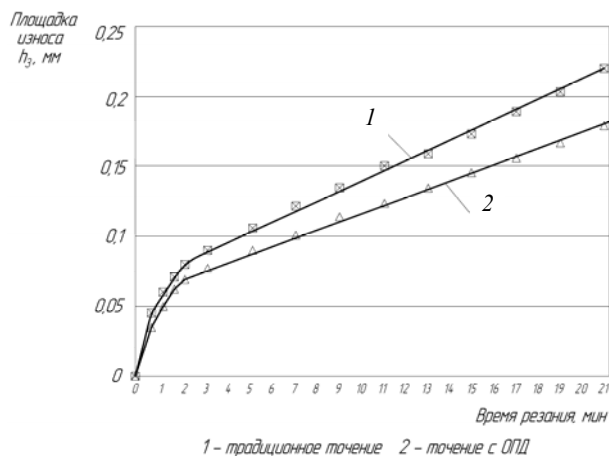


Рис. 1. Зависимость размера площадки износа по задней поверхности резца от времени работы (Сталь 20 – твердый сплав Т15К6, $t = 1$ мм; $v = 90$ м/мин; $s = 0,256$ мм/об. При точении с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 2$)

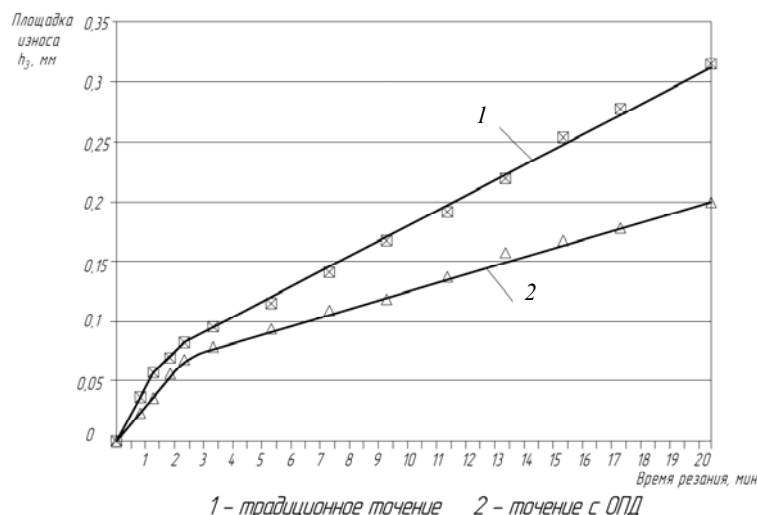


Рис. 2. Зависимость размера площадки износа по задней поверхности резца от времени работы (Сталь 30ХМА – твердый сплав ВК6, $t = 1$ мм; $v = 135$ м/мин; $s = 0,166$ мм/об. При точении с ОПД $K_{\text{ОПД}} = 2$)

Быстрое изнашивание режущего инструмента во время приработки может быть связано с появлением микросколов, которые являются результатом кратковременной ползучести. Во всех случаях точения с ОПД приработка резца происходит при меньших величинах износа. Снижение температурно-силовой напряженности процесса [4] при резании с использованием предлагаемого способа обуславливает уменьшение пластической деформации режущего клина и потерю им формоустойчивости, в то время как при традиционной обработке наблюдались микросколы и выкрашивания (рис. 3, 4). На графиках заметно существенное снижение интенсивности затупления инструмента во время фазы нормального изнашивания при точении с ОПД: угол наклона участка кривой нормального износа меньше по сравнению с традиционной обработкой, что обуславливает увеличение периода стойкости твердосплавных СМП.

Величины наклепа, созданные в поверхностном слое обрабатываемого тела, соответствующие максимальному снижению температурно-силовой напряженности съема припуска – $K_{\text{ОПД}}^{\text{эффект max}}$, соответствуют наибольшему повышению стойкости инструмента при точении с ОПД.

При использовании ОПД имеет место уменьшение тангенциальной, радиальной и осевой составляющих сил резания [4]. Снижение давлений, действующих на рабочие поверхности инструмента, способствует ослаблению усталостных явлений, расшатывающих структуру твердого сплава. Снижение коэффициента продольной усадки стружки при использовании ОПД косвенно свидетельствует о снижении со-

противления контактному течению прирезцовых слоев стружки, находящихся под воздействием контактного пластического деформирования.

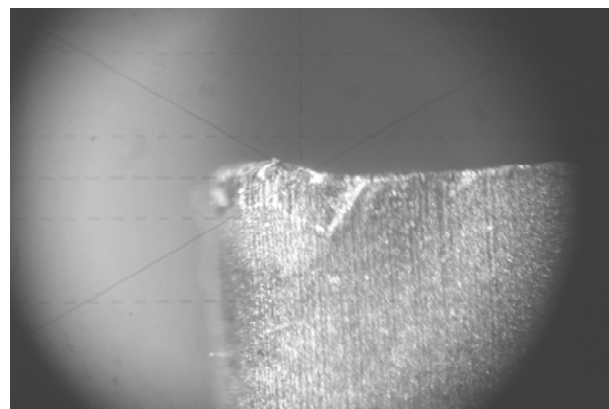


Рис. 3. Вид режущей пластины со стороны главной задней поверхности. Традиционное точение (Сталь 20 – твердый сплав ВК6; $t = 1$ мм, $v = 90$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об)

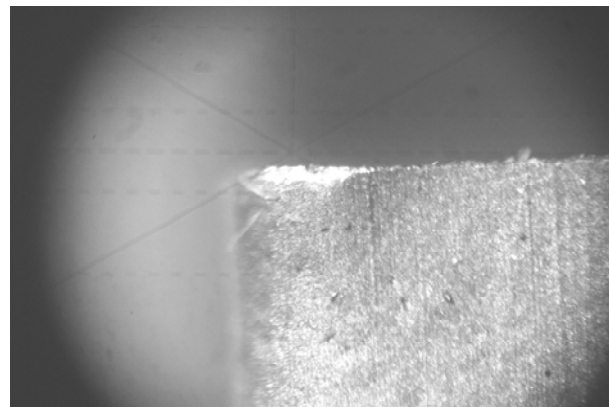


Рис. 4. Вид режущей пластины со стороны главной задней поверхности. Точение с ОПД (Сталь 20 – твердый сплав ВК6; $t = 1$ мм, $v = 90$ м/мин, $s = 0,256$ мм/об, $K_{\text{ОПД}} = 2$)

Наряду с повышением стойкости инструмента по критерию допустимой площадки h_3 по задней поверхности при резании с ОПД имеет место снижение интенсивности размерного изнашивания лезвий. Этот параметр определяет период времени, в течение которого инструмент обеспечивает изготовление деталей в пределах заданных технических условий. Данный критерий затупления оценивается уменьшением размера резца в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности. При точении с ОПД имеет место снижение размерного износа, объясняемое меньшей температурно-деформационной напряженностью состояния рабочего клина и процесса съема металла. Из рис. 3, соответствующего традиционному точению, отчетливо виден больший размер площадки износа по задней поверхности резца по сравнению с режущей пластиной после точения с ОПД (рис. 4).

Применение ОПД обрабатываемой поверхности позволяет повысить стойкость режущего инструмента по критерию максимально допустимого размера площадки износа по задней поверхности h_3 и производительность процесса по сравнению с традиционным точением.

Снижение давлений, действующих на рабочую поверхность инструмента, нагрева режущего клина при точении с ОПД, способствует ослаблению пластического деформирования ре-

жущего клина, явлений адгезионно-усталостного и диффузионного изнашивания.

Зависимость снижения интенсивности изнашивания лезвий от характера предварительно сообщенной материалу заготовки деформации аналогична изменению параметров (силы, температуры резания и др.) процессов, протекающих в зоне разделения металла, – величины наклепа, созданные в поверхностном слое обрабатываемого тела, соответствующие $K_{\text{ОПД}}^{\text{эффект max}}$, относятся к наибольшему повышению стойкости инструмента при точении с ОПД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2399460 РФ. МПК В 23 В 1/00. Способ обработки деталей резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Поляничков, 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.
2. Лоладзе, Т. Н. Износ режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М.: Машгиз, 1958. – 358 с.
3. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
4. Повышение эффективности точения конструкционных углеродистых и легированных сталей при использовании опережающего пластического деформирования / А. А. Бондарев, П. А. Азаматов, И. Н. Козачухненко, А. Р. Ингеманссон, Д. В. Крайнев // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 7(110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 11–14.

УДК 621.9.025.01:519.2

Б. М. Бржозовский, Е. П. Зинина, В. В. Мартынов, Е. С. Плешакова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОВ ИНСТРУМЕНТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ*

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

E-mail: kimov@sstu.ru

Представлены результаты определения параметров дефектов режущего инструмента, модифицированного воздействием низкотемпературной плазмы, для создания модели оценивания качества процесса его эксплуатации.

Ключевые слова: модифицированный режущий инструмент, дефекты, параметр.

The results of determining the defect parameters of the cutting tool, a modified low-temperature plasma exposure, to create a model quality evaluation process of its operation.

Keywords: modified cutting tool, defects, parameter.

Современное производство характеризуется широким применением легированных сталей и сплавов, а также других материалов с высоки-

ми прочностными характеристиками. При контакте с инструментом данные материалы вызывают значительные знакопеременные нагрузки на его режущих кромках и высокую температурную напряженность в зоне резания. Это провоцирует интенсивное изнашивание инструмента и сокращает период его стойкости. Для

* Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № НК 14-08-00396\14

ее повышения существуют различные подходы, в частности, упрочнение рабочей части инструмента различными способами, например, воздействием низкотемпературной плазмы [1].

Материалы стойкостных испытаний модифицированного инструмента в условиях реального производства позволили зафиксировать увеличение в 1,5–3 раза времени стойкости и стабилизацию размерной точности обработки, связанные с повышением устойчивости инструмента к образованию дефектов на его рабочих поверхностях. В связи с этим являются актуальными обоснование и разработка программно-математического обеспечения для создания компьютерной системы оценивания качества процесса эксплуатации данного инструмента с целью его последующей оптимизации.

Наиболее сложной задачей является определение параметров дефектов. Использование традиционных подходов теории резания, когда в качестве параметров принимаются физические характеристики, такие как размеры, площадь, масса или объем, позволяет количественно охарактеризовать сами дефекты. Оценка же их влияния на эволюцию состояния инструмента в большинстве случаев выполняется аналитически, в основном с использованием параметров макродефектов: фаски и лунки износа. В связи с этим заметим, что в последнее время для оценивания состояния инструмента начинает применяться имитационное моделирование процесса резания. Основная цель при этом заключается в воспроизведении поведения изучаемой модели (как натурной, так и математической) на основе анализа наиболее существенных взаимосвязей входящих в нее переменных [2]. По существу имитационное моделирование представляет собой вычислительный эксперимент, результаты которого позволяют оценить влияние фактора неопределенности в значениях входных переменных на выходные переменные или их функции.

Имитационное моделирование позволяет по-новому подойти к понятию «параметр дефекта», поскольку реализация такого моделирования связана с имитацией движения объекта в пространстве возможных состояний посредством их случайного «розыгрыша» с использованием параметров модели, которые определяются либо расчетным путем, либо экспериментально. Обычно параметрами моделей исследования качества и/или надежности являются вероятности или интенсивности переходов ме-

жду состояниями, которые содержат информацию об основных закономерностях реакции объекта на действие возмущающих факторов, а также о структуре объекта, т. е. о том, как соотносятся между собой его основные элементы и выходные характеристики. В данном случае объектом является постэксплуатационное состояние рабочей части модифицированного инструмента, а его элементами – дефекты как результат контактных взаимодействий с заготовкой при резании (в данном случае механических, абразивных, адгезионных и диффузионных процессов), вносящих различный вклад в формирование состояния. Тогда в качестве параметров примем степени относительной значимости дефектов, определить которые можно по результатам их попарного сравнения между собой по некоторой совокупности признаков, в том числе и по физическим характеристикам. С этой целью воспользуемся методом расстановки приоритетов, основанным на коллективной экспертной оценке; последовательность выполняемых при этом процедур выглядит следующим образом [3].

Пусть имеется n объектов X (в данном случае – дефектов) и m признаков Y (в данном случае – факторов, под влиянием которых происходит их образование и развитие), по которым эти объекты будут сравниваться попарно. Пусть коэффициент b_{ij} является аналогом представления о превосходстве i -го объекта над j -м по признаку Y_k . Задание численных значений b_{ij} может быть произвольным, но для простоты расчетов и удобства представления результатов целесообразно оперировать положительными числами. В общем виде выбор коэффициентов b_{ij} представляется как:

$$b = \begin{cases} 1+k, & \text{если } X_i > X_j \\ 1, & \text{если } X_i = X_j \\ 1-k, & \text{если } X_i < X_j \end{cases}, \quad (1)$$

где k – любое действительное число из интервала $[0; 1)$.

Знаки отношений выражают предпочтение одного объекта перед другим по конкретному признаку.

По результатам сравнения формируется матрица $B_l = |b_{ij}|$. Далее производится расчет значений приоритетов объектов по конкретному признаку l суммированием строк матрицы B :

$$Z_i(1) = \sum_{j=1}^n b_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

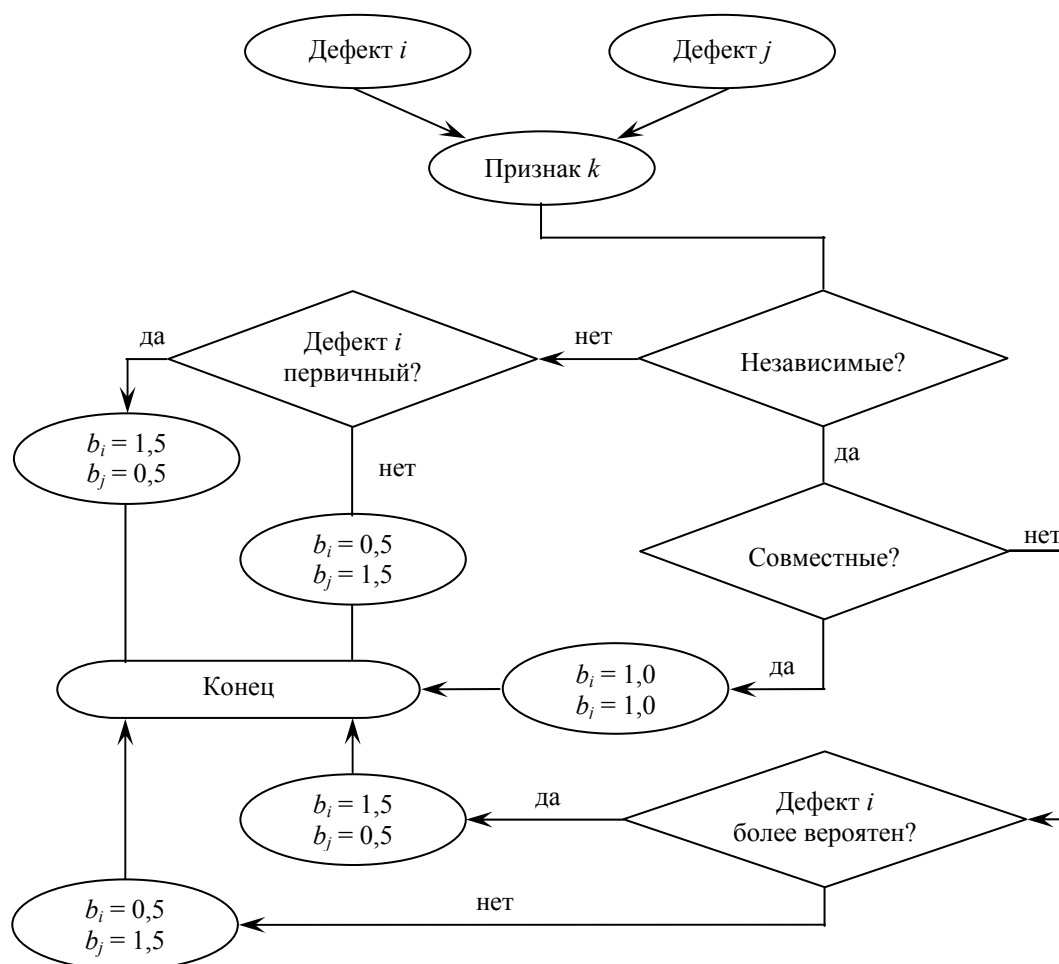
Величина относительной значимости (или приоритета по l -му признаку) каждого объекта в общей сумме определяется методом итерации первого уровня [3]:

$$K_i^{\text{отн.}}(l) = \frac{Z_i(l)}{\sum_{j=1}^n Z_j(l)}. \quad (3)$$

Содержательно каждый такой элемент означает относительное число приоритетов данного объекта.

Найденные приоритеты (3) и будут параметрами дефектов. Необходимые для их вычисления исходные данные (основные факторы, влияющие на образование дефектов) были ото-

браны с позиций фундаментальных положений теории резания металлов, а также по результатам анализа материалов стойкостных испытаний модифицированных сменных многогранных твердосплавных пластин [1]: скорость резания (1); подача (2); глубина резания (3); радиус округления пластины (4); толщина пластины (5); твердость инструментальной матрицы (6); толщина модифицированного слоя (7); химический состав инструментального материала (8); зернистость инструментального материала (9); твердость обрабатываемого материала (10); химический состав обрабатываемого материала (11); схема обработки (12); размеры дефектов по параметру суммарной площади (или объему), занимаемой на рабочей части (13).



Стратегия принятия решения при сравнении дефектов

В качестве комментариев к результатам отбора отметим следующее.

1. Геометрические параметры пластин: передний угол, угол наклона кромки, задний угол, главный угол в плане, угол при вершине исключены из рассмотрения, поскольку для

сменных многогранных пластин они являются величинами постоянными.

2. Ползучесть модифицированного слоя, а также конструктивные параметры пластины – длина и ширина – учитываются радиусом ее округления [4].

3. Влияние основных процессов, сопровождающих резание (стружкообразование, движение и усадка стружки, относительное сближение контактных поверхностей и др.), учитывается через параметры технологического режима и толщину модифицированного слоя, а также твердость и химический состав инструментальной матрицы. Влияние изменений характеристик этих процессов учитывается рассмотрением двух вариантов значений режимных параметров и толщины слоя: неоптимальных и оптимальных.

4. Влияние теплопроводности, упругости, пластичности и электропроводности пластин учитывается через их толщину и химический

состав материала.

При выполнении процедуры сравнения дефектов было принято во внимание, что, во-первых, один из них может зависеть от другого (т. е. возникать только при условии возникновения первого), во-вторых, будучи независимыми, они могут возникать как одновременно, так и в разные моменты времени, в-третьих, они не обязательно должны возникнуть оба. Это легло в основу разработки стратегии принятия решений, показанной на рисунке.

Значения $K_{ij}^{отн}$, полученные по результатам сравнения объектов в соответствии с разработанной стратегией, представлены в таблице.

Результаты определения параметров относительной значимости дефектов

Дефекты	Факторы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Значение параметра $K_{ij}^{отн}$ ($i = 1, \dots, 19, j = 1, \dots, 13$)												
1	0,064	0,068	0,057	0,066	0,066	0,062	0,068	0,039	0,039	0,034	0,064	0,043	0,069
2	0,055	0,053	0,093	0,062	0,051	0,054	0,059	0,040	0,040	0,047	0,060	0,067	0,030
3	0,046	0,055	0,044	0,048	0,050	0,048	0,054	0,065	0,065	0,050	0,072	0,050	0,061
4	0,050	0,050	0,044	0,043	0,047	0,047	0,056	0,068	0,068	0,061	0,064	0,060	0,046
5	0,055	0,058	0,051	0,059	0,058	0,061	0,062	0,069	0,069	0,052	0,037	0,058	0,044
6	0,068	0,061	0,061	0,055	0,062	0,059	0,060	0,039	0,039	0,043	0,066	0,056	0,062
7	0,064	0,058	0,061	0,057	0,061	0,064	0,065	0,039	0,039	0,030	0,039	0,050	0,037
8	0,062	0,057	0,059	0,061	0,060	0,061	0,061	0,039	0,039	0,033	0,036	0,051	0,062
9	0,054	0,057	0,057	0,064	0,055	0,061	0,057	0,040	0,040	0,061	0,064	0,062	0,058
10	0,042	0,047	0,047	0,057	0,057	0,055	0,040	0,063	0,063	0,059	0,037	0,055	0,033
11	0,039	0,042	0,036	0,034	0,037	0,037	0,033	0,057	0,057	0,066	0,043	0,043	0,062
12	0,060	0,054	0,056	0,051	0,053	0,053	0,060	0,039	0,039	0,050	0,068	0,062	0,062
13	0,047	0,055	0,049	0,052	0,053	0,051	0,060	0,066	0,066	0,061	0,053	0,047	0,040
14	0,044	0,047	0,049	0,044	0,045	0,048	0,036	0,066	0,066	0,057	0,054	0,043	0,062
15	0,052	0,051	0,052	0,052	0,051	0,051	0,058	0,066	0,066	0,059	0,054	0,051	0,063
16	0,064	0,058	0,059	0,054	0,058	0,058	0,060	0,039	0,039	0,043	0,040	0,048	0,035
17	0,037	0,042	0,043	0,045	0,042	0,043	0,031	0,062	0,062	0,064	0,047	0,058	0,043
18	0,055	0,053	0,051	0,066	0,057	0,057	0,050	0,039	0,039	0,066	0,062	0,054	0,062
19	0,042	0,034	0,031	0,030	0,037	0,030	0,030	0,065	0,065	0,064	0,040	0,042	0,069

П р и м е ч а н и е. Дефекты: 1 – истирание покрытия; 2 – микротрещина; 3 – истирание зерен матрицы; 4 – вырыв зерен; 5 – деформирование матрицы; 6 – вкрапление продуктов износа в поверхность; 7 – козырек; 8 – наплыв; 9 – несплошности; 10 – трещины; 11 – пропахивание (микропроточкины); 12 – налипание обрабатываемого материала на продукты износа; 13 – проточина; 14 – лунка износа; 15 – фаска износа; 16 – розетка; 17 – выкрашивание; 18 – отслаивание покрытия; 19 – локальные разрушения

В заключение отметим, что материалы представленных в статье исследований составляют основу для разработки модели оценивания качества процесса эксплуатации модифицированного инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бржозовский, Б. М. Прогрессивные направления повышения эффективности использования металлорежу-

щего инструмента / Б. М. Бржозовский, В. В. Мартынов, О. В. Захаров [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 256 с.

2. Грубый, С. В. Имитационное моделирование процессов резания и изнашивания инструмента / С. В. Грубый // Вестник машиностроения. – 2007. – № 7. – С. 38–42.

3. Блюмберг, В. А. Какое решение лучше? Метод ранжирования приоритетов / В. А. Блюмберг, В. Ф. Глушенко. – Л. : Лениздат, 1982. – 160 с.

4. Глухов, Ю. Г. Влияние радиуса ρ на ползучесть режущего клина / Ю. Г. Глухов, Л. А. Хохряков, Т. В. Шитова // Физические процессы при резании металлов : сб. науч. тр. – Волгоград : Изд-во ВолгПИ, 1986. – С. 174–177.

УДК 658.5

*Ю. М. Быков, М. С. Бугрова***ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: margarita6262@yandex.ru

Применение концепции «Бережливое производство» на предприятии позволяет значительно сокращать затраты труда, времени, ресурсов, исключать излишние действия при изготовлении продукции, сохраняя при этом ее значимые характеристики и функции.

Ключевые слова: «Бережливое производство», ценность продукции, «Точно вовремя», система «вытягивания», постоянное улучшение.

Applying the concept of «Lean Production» in the enterprise gives the opportunity to significantly reduce the cost of labor, time and resources, exclude unnecessary steps in manufacturing products, while maintaining its important characteristics and functions.

Keywords: «Lean production», the value of products, «Just-in-time», pull system, continuous improvement.

Повышение конкурентоспособности предприятий требует применения новых подходов к организации производства, обеспечивающих высокое качество продукции с одновременным уменьшением ее себестоимости. Поэтому все большее распространение получает концепция, получившая название «Lean production» или «Бережливое производство», основой которой является производственная система Тойоты (TPS). Этот подход особенно эффективен в настоящее время, характеризующееся увеличением доли серийного производства.

Концепция «Бережливого производства» основывается на следующих принципах:

- определение ценности продукции;
- определение потока создания ценности продукции;
- обеспечение непрерывного течения потока создания ценности продукции (непрерывная обработка продукции);
- обеспечение условий для вытягивания продукта;
- постоянное улучшение.

Ценность продукции, с одной стороны, определяется потребителем, а с другой – обеспечивается производителем. Ценность продукции зависит от перечня и значений характеризующих ее показателей, включающих и стоимость продукции. Придание продукции дополнительных, не нужных потребителю функций, или наоборот, отсутствие необходимых характеристик, приводят к увеличению потерь как для потребителя, так и для производителя. Для определения важных для потребителя характеристик продукции наиболее эффективной является «Технология развертывания функций качества» (Quality Function Deployment). Этот метод позволяет перевести требования к продукции

(в терминах потребителя) в требования к ее техническим характеристикам (в терминах производителя) и определить те характеристики, которые наиболее значимы для потребителя.

Поток создания ценности – это совокупность всех действий, включающих проектирование, закупки комплектующих и материалов, подготовку производства и т. п., которые необходимо совершить, чтобы продукция поступила к потребителю. Основным инструментом при этом является карта потока процесса, которая наглядно иллюстрирует материальные и информационные потоки, непосредственно связанные с производством продукции. Карта процесса также дает четкое и ясное представление о затратах и потерях в процессе производства.

Действия, составляющие поток создания ценности, можно разделить на три вида:

- действия, создающие ценность, например, обработка заготовок, сборка изделий, доставка продукции потребителю;
- действия, не создающие ценность, но необходимые для нормального хода процесса, например, ремонт оборудования, проверка качества продукции;
- действия, не создающие ценность, которые можно исключить из процесса, например, промежуточное складирование продукции, ее ненужная транспортировка.

При совершенствовании процесса производства, в первую очередь, необходимо стараться исключить из него излишние действия, не добавляющие продукции ценность, а не сосредотачиваться на повышении эффективности отдельных операций.

Основными видами потерь, сформулированными при создании системы Тойоты, являются следующие:

- из-за перепроизводства продукции;
- временные из-за ожидания (обработки, сборки, контроля и т. п.);
- при ненужной транспортировке продукции;
- из-за лишних этапов обработки;
- из-за лишних запасов;
- из-за ненужных перемещений при выполнении операций;
- из-за выпуска дефектной продукции.

Непрерывность течения потока изготовления продукции обеспечивается применением системы «Точно вовремя» (Just-in-time). Это логистическая концепция предприятия, позволяющая производить и поставлять продукцию небольшими партиями и в сжатые сроки, удовлетворяя конкретные запросы потребителей (поставка того, что нужно, в нужный момент и в нужном количестве). Внедрение системы «Точно вовремя» требует четкого планирования и слаженной работы всех подразделений предприятия.

Классический подход к определению оптимального объема партий запуска продукции в производство заключается в поиске оптимального соотношения затрат на переналадку и на хранение излишних запасов. Система «Точно вовремя» предусматривает сокращение до минимума запасов комплектующих. А уменьшение времени переналадки оборудования обеспечивается применением системы «Быстрой переналадки» (Single Minute Exchange of Dies). Это методика, используемая для сокращения времени переналадки, переоснащения или ремонта оборудования.

Система «вытягивания» продукции является альтернативой системы «выталкивания», которая базируется на графике производства продукции (производственном плане). При этом производственный план разрабатывается заблаговременно, как правило, на месяц вперед, что не позволяет учитывать колебания спроса на

продукцию. Ошибки в прогнозе ведут к избыточному или недостаточному производству продукции.

Система «вытягивания» – это такая организация производства, при которой план работы, составленный только для подразделения, осуществляющего окончательную сборку продукции, автоматически порождает планы работ для всех остальных подразделений, включенных в технологическую цепочку. При этом сроки планирования определяются только длительностью производственного цикла изготовления продукции.

Система вытягивания служит средством обеспечения системы «Точно вовремя».

Непременным условием реализации системы «вытягивания» является выравнивание или синхронизация производства комплектующих частей продукции. Для устранения разницы во времени производства комплектующих между производственными подразделениями могут создаваться небольшие буферные запасы.

Принцип постоянного улучшения предусматривает непрерывную деятельность по определению ценности продукции, анализу потока создания ценности с целью сокращения всех затрат, обеспечению потребителю возможности вытягивать ценность из предприятия. Этот процесс направлен на создание продукции, которая все в большей степени будет приближаться к тому, что действительно нужно потребителю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Levinson, William A.* Lean Enterprise. A Synergistic Approach to Minimizing Waste / William A. Levinson, Raymond A. Rerick // ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin. – 2007. – P. 272.
2. *Luyster, Tom.* Creating Your Lean Future. How to Move from Seeing to Doing / Tom Luyster, Don Tapping // Productivity Press, New York. – 2008. – P. 132.
3. *Womack, James P.* Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation / James P. Womack, Daniel T. Jones // Free Press, New York. – 2004. – P. 473.

УДК 620.1.08

В. К. Голованов, В. В. Елхов

КОНСТРУКЦИЯ БЕСКОРПУСНОГО ДАТЧИКА СИЛЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: e.l.h.o.v@mail.ru

Приведена конструкция бескорпусного тензорезисторного датчика силы, обеспечивающего высокую точность на всем допустимом диапазоне измерений, в том числе и в агрессивных средах.

Ключевые слова: тензорезистор, датчик силы, упругий элемент.

Description of the new design of frameless strain gauge force sensor, which ensures high accuracy and can operate in a hostile environment.

Keywords: strain gauge, force sensor, resilient element.

Производительность взвешивания объектов можно повысить за счет увеличения скорости прохождения объекта через взвешивающее устройство, что, в свою очередь, приводит к резкому возрастанию динамических усилий, возникающих в момент воздействия объекта на платформу весов. Поэтому общее усилие, воздействующее на силоизмеритель, также возрастет, что требует увеличить габаритные размеры. Основной материальной частью силоизмерителя является его корпус.

В целях снижения металлоемкости силоизмерители предлагается проектировать так, чтобы корпус отсутствовал, а его функции выполнял сам упругий элемент. Подобные конструкции представлены в [1] и [2].

Обойтись без корпуса при проектировании тензорезисторного силоизмерителя в указанных конструкциях позволяет применение запрессовки отдельно изготовленной цилиндрической оболочки или подрезисторных колец с установленными на них тензорезисторами. Недостатком подобных конструкций является то, что запрессовка элемента с установленными тензорезисторами осуществляется по цилиндрическим поверхностям, ось которых совпадает с осью кольцевого силопреобразователя. Поэтому приложение измеряемого усилия сжатия или растяжения к оболочке или кольцам вызывает изменение величины сил запрессовки, и, как следствие, осевые силы, стремящиеся сдвинуть в осевом направлении поверхность с тензорезисторами. Величина запрессовки колец соизмерима с величиной измеряемой деформации, поэтому при допустимой для датчика 10 %-ной перегрузке оболочка или кольца могут сдвинуться в осевом направлении, что приведет к некорректности предоставляемых датчиком данных.

Таким образом, актуальной задачей является создание новой конструкции тензорезисторного датчика силы, позволяющего измерять динамические нагрузки с повышенной надежностью и высокой точностью.

Представленная на рисунке конструкция упругого элемента состоит из жесткого центра 1, силовводящей оболочки 2, кольцевого силопреобразователя 3, ограниченного внутри цилиндрической поверхностью, имеющей в своей нижней части кольцевой выступ 4, ограниченный той же внутренней цилиндрической поверхностью, опорной оболочки 5 большего диаметра и опорного кольца 6, соединенных между собой последовательно и выполненных

за одно целое, и запрессованных верхнего 7 и нижнего 8 подрезисторных колец. Верхнее подрезисторное кольцо 7 ограничено изнутри и снаружи цилиндрической поверхностью и снаружи имеет два конусообразных выступа 9, расположенных симметрично середине. Тензорезисторы показаны условно и обозначены позициями 10 для верхнего подрезисторного кольца 7, и позицией 11 для нижнего подрезисторного кольца 8. Вогнутость силовводящей оболочки 2 показана с помощью радиусов r , R поверхностей, ее ограничивающих изнутри и снаружи соответственно.

Осевая нагрузка P приложена к жесткому центру 1 и действует со стороны опорного кольца 6 в качестве реакции опоры. В результате средняя вогнутая часть силовводящей оболочки 3 сжимается и влечет сжатие верхнего подрезисторного кольца 7 с тензорезисторами 10. Это обеспечивается тем, что силовводящая оболочка 3 является вогнутой и величина ее вогнутости больше ее толщины, то есть $b > a$. Нижняя часть силовводящей оболочки 2 и опорная оболочка 5 воздействуют на кольцевой силопреобразователь 3, поворачивают его сечение совместно с кольцевым выступом 4 на некоторый угол, что влечет растяжение нижнего подрезисторного кольца 8 с тензорезисторами 11. Таким образом, верхние тензорезисторы 10 уменьшают свою длину, а нижние 11 увеличивают и, включенные в электрическую схему мостика Уинстона, вырабатывают электрический сигнал, пропорциональный приложенной нагрузке P .

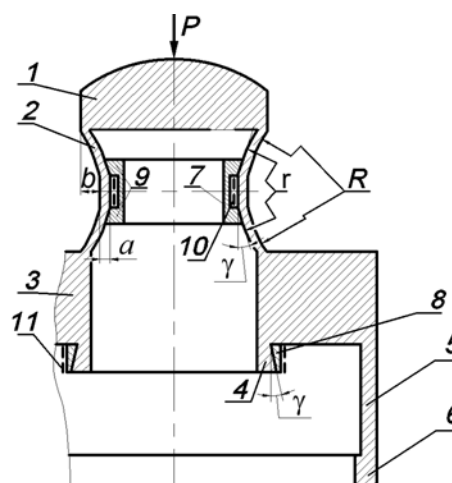


Схема бескорпусного тензорезисторного датчика силы

Разработанная конструкция за счет применения запрессовки элементов с установленными тензорезисторами по коническим поверхностям

и вогнутой силовводящей оболочки обеспечивает точность и надежность передачи деформации, что, в свою очередь, предоставляет возможность получать корректные данные с силоизмерителя во всем допустимом диапазоне измерений. Конфигурация упругого элемента так-же позволяет использовать предлагаемый тензорезисторный датчик в агрессивных средах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сергеев, С. Т.* К вопросу расчета и проектирования бескорпусных датчиков силы / С. Т. Сергеев, А. Ф. Да-

щенко, В. К. Голованов // АН УССР. Прикладная механика. – 1991. – Т. XXVII. – № 11. – С. 97–102.

2. *Сергеев, С. Т.* Метод расчета бескорпусных датчиков силы / С. Т. Сергеев, А. Ф. Дащенко, В. К. Голованов // Вестник машиностроения. – 1992. – № 1. – С. 24–26.

3. *Голованов, В. К.* Датчик силы для измерения малых нагрузок в технологический процессах / В. К. Голованов, С. В. Кумбрасьева, А. Ю. Фастовцев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – С. 15–17.

4. *Гуреева, Н. А.* Расчет многослойной оболочки с использованием объемного конечного элемента / Н. А. Гуреева, А. П. Киселев, Р. З. Киселева // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – С. 125–128.

УДК 621.791.019

Н. И. Егоров, Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин ИССЛЕДОВАНИЕ ОХВАТЫВАЮЩЕГО КОЛЬЦА С РОЛИКАМИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЙ РАДИУСА ВПАДИНЫ РЕЗЬБЫ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: egorov_ni@mail.ru

Для упрочнений впадины резьбы разработан инструмент пластической деформации в виде кольца с роликами в сепараторе. Получены аналитические зависимости шероховатости поверхности, силы и энергии удара от параметров режима обработки.

Ключевые слова: резьба, охватывающее кольцо, ролики, сепаратор, пластическая деформация, шероховатость поверхности, предел выносливости, наклеп.

In the order to strengthen a thread cavity a tool for plastic deformation is designed as the ring with the separator rollers. One gets the analytical dependences of the surface roughness, strength and impact energy on the processing mode parameters.

Keywords: thread, covering ring, rollers, separator, plastic deformation, roughness, cold-hardening.

Для повышения предела выносливости резьбы применяется статико-импульсная отделочно-упрочняющая обработка впадины резьбы пластическим деформированием [1, 2]. Упрочнение впадины резьбы происходит за счет наклепа, создающего остаточные напряжения сжатия, и уменьшения концентрации напряжений вследствие снижения шероховатости впадины резьбы [3].

Целью разработки является повышение степени деформации при меньших энергетических затратах за счет уменьшения радиуса деформирующих роликов, повышение производительности обработки и снижение шероховатости поверхности за счет увеличения количества роликов. Для достижения поставленной цели разработано охватывающее кольцо с роликами по внутреннему винтовому периметру в сепараторе для статико-импульсного упрочнения впадины резьбы на заготовке с предварительно нарезанной резьбой (рис. 1).

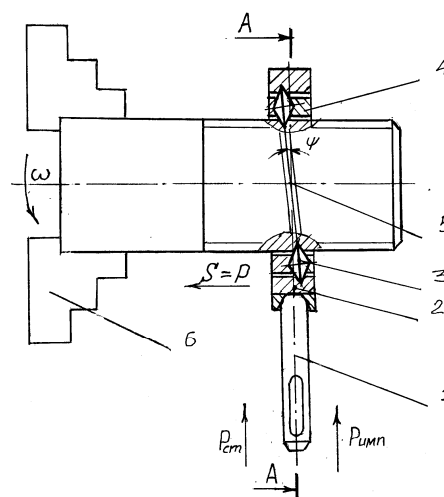


Рис. 1. Охватывающий инструмент с роликами в сепараторе для статико-импульсного отделочно-упрочняющего накатывания резьбы:

1 – волновод; 2 – охватывающее кольцо; 3 – ролики; 4 – сепаратор; 5 – заготовка; 6 – трехкулачковый патрон; $P_{ст}$ – статическая составляющая деформирующей силы; $P_{дин}$ – динамическая составляющая деформирующей силы; ω – угловая скорость вращения заготовки; S – движение подачи; P – шаг резьбы; ψ – угол подъема винтовой линии резьбы

Охватывающее кольцо с роликами для статико-импульсного отделочно-упрочняющего накатывания впадины резьбы (рис. 1–2) содержит волновод 1, с помощью которого через боек (не показан) инструменту сообщаются статическая $P_{ст}$ и динамическая $P_{имп}$ составляющие деформирующей силы от генератора механических импульсов (не показан).

По внутренней канавке охватывающего кольца 2 расположены ролики 3 с коническими поверхностями и углом между ними, соответствующим профилю впадины резьбы, которые установлены равномерно в сепараторе 4 по винтовой линии с углом подъема ψ , соответствующей резьбе. Заготовка 5 устанавливается в самоцентрирующем трехкулачковом патроне 6 токарно-винторезного станка.

Предлагаемый инструмент работает следующим образом: охватывающее кольцо 2 с роликами 3, установленными в сепараторе 4 накручивается на предварительно нарезанную резьбу заготовки 5. Ему сообщается статическая $P_{ст}$ и динамическая $P_{имп}$ составляющие деформирующей силы волноводом 1. Заготовка 5 вращается с угловой скоростью ω . Резьбонакатное кольцо 2 получает движение продольной подачи S , равное шагу резьбы P и воздействует через ролики 3 на заготовку 5 с поперечной силой $P_{ст} + P_{имп}$.

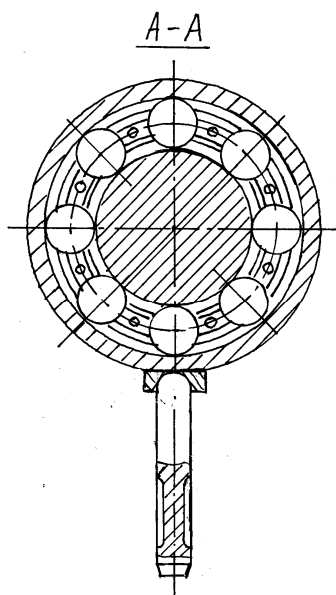


Рис. 2. Разрез А-А охватывающего инструмента с роликами в сепараторе

Из схемы (рис. 3) можно рассчитать зависимость высоты микронеровностей поверхности Rz после обработки от параметров режимов обработки.

$$Rz = d_p \cdot \sin^2 \gamma = d_p \cdot \sin^2 \frac{\pi \cdot n_3}{n_{имп}}, \quad (1)$$

где Rz – высота микронеровностей; d_p – наружный диаметр ролика; $\gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_3}{n_{имп}}$ – угол поворота заготовки за один импульс, рад; $n_{имп}$ – число (частота) импульсов, мин^{-1} ; n_3 – число оборотов заготовки мин^{-1} .

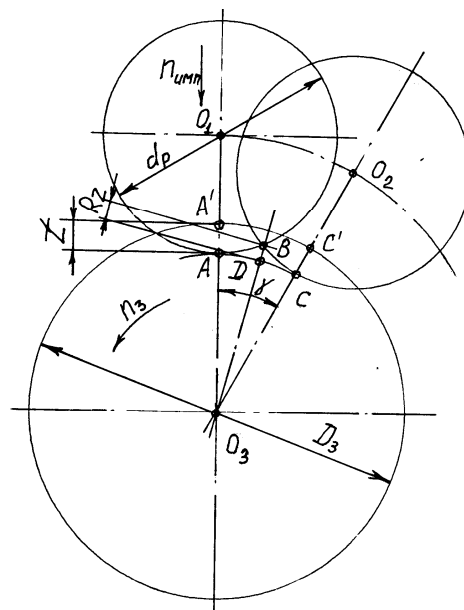


Рис. 3. Схема статико-импульсного накатывания резьбы охватывающим инструментом с роликами для расчета шероховатости поверхности Rz :

D_3 – внутренний диаметр резьбы; d_p – наружный диаметр ролика; Rz – высота микронеровностей; γ – угол поворота заготовки за один импульс генератора механических импульсов; $n_{имп}$ – частота ударов вибрирующего инструмента; n_3 – число оборотов заготовки; t – глубина вдавливания ролика во впадину резьбы

По приведенным формулам, задав частоту импульсов, число оборотов заготовки, можно определить высоту микронеровностей после статико-импульсного отделочно-упрочняющего накатывания впадины резьбы заготовки и сравнить с допустимой.

Из схемы (рис. 4) можно рассчитать зависимость усилия вдавливания и энергии удара, прикладываемого к инструменту, от глубины деформации.

$$P = HB \cdot \frac{\pi^2 \cdot R \cdot d_p}{90^0} \arcsin \sqrt{\frac{t \cdot (d_1 - t)}{d_p(d_p - 2t + d_1)}}, \quad (2)$$

$$G = P \cdot t = HB \cdot \frac{\pi^2 \cdot R \cdot d_p \cdot t}{90^0} \arcsin \sqrt{\frac{t \cdot (d_1 - t)}{d_p(d_p - 2t + d_1)}}, \quad (3)$$

где P – усилие вдавливания ролика во впадину резьбы, Н; G – энергия удара ролика, Дж; HB –

твердость по Бринеллю H/m^2 ; d_1 – внутренний диаметр резьбы, м; R – радиус закругления впадины резьбы, м; d_p – наружный диаметр ролика; t – глубина вдавливания ролика во впадину резьбы.

По приведенным формулам, задав глубину деформации, твердость заготовки, диаметр роликов и радиус впадины резьбы, можно определить требуемое усилие вдавливания роликов и энергию удара инструмента.

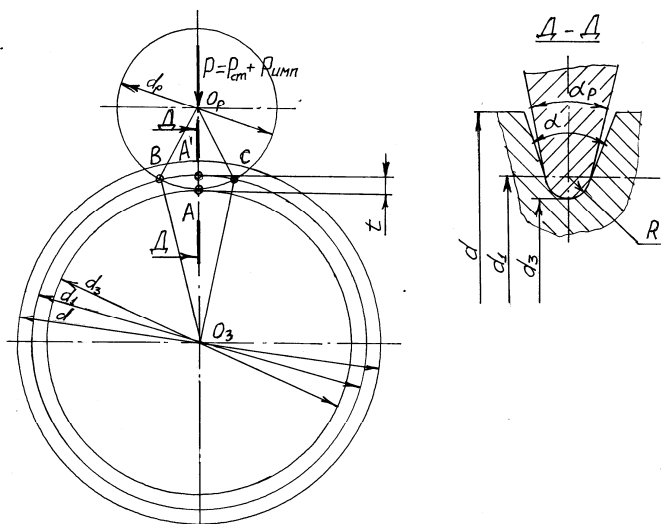


Рис. 4. Схема статико-импульсного накатывания впадины резьбы для расчета усилия и энергии деформации:

d – наружный диаметр резьбы; d_1 – внутренний диаметр резьбы; d_3 – диаметр впадины резьбы с радиусом закругления; R – радиус закругления впадины резьбы; d_p – наружный диаметр ролика; t – глубина вдавливания ролика во впадину резьбы; α – угол профиля резьбы; α_p – угол профиля ролика; P – усилие вдавливания ролика; $P_{ст}$ – статическая составляющая силы; $P_{дин}$ – динамическая составляющая силы

При промышленных испытаниях заготовку стали 40ХНМ2А, твердость HB 226–253, с предварительно нарезанной резьбой М90×4 с припуском на диаметр $z = 0,5$ мм закрепили в трехкулачковом самоцентрирующем патроне токарного станка модели 1М63Н. В резцедержателе закреплен генератор механических импульсов (отбойный молоток частотой импульсов $n_p = 4200$ мин⁻¹ и энергии удара $G = 3,1$ Дж), в бойке установлен волновод. Резьбонакатное кольцо с установленными внутри восемью роликами диаметром 10 мм (сталь ХВГ), с углом профиля 55°, равномерно расположенными по периметру внутри бронзового сепаратора, накручивается на заготовку с предварительно нарезанной резьбой с углом профиля 60°. Скорость вращения шпинделя станка, в котором закрепляется обрабатываемая заготовка резьбы $n = 10$ мин⁻¹, подача $S = 4$ мм/об. Испытаниями установлено, что производительность процесса повышается в 1,5...2,0 раза. Размеры резьбы соответствуют требованиям точности 6g. Параметр шероховатости поверхности резьбы

$Ra = 0,32$ мкм. Глубина упрочненного слоя $t = 0,25$ мм. Увеличение микротвердости и прочности наклепанного слоя составило в среднем 25 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет параметров процесса обкатки вибрирующим роликом впадины резьбы / Н. И. Егоров, И. А. Небыков, П. И. Терпак, Д. В. Моисеева // Изв. ВолГГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 18–20.
2. Влияние присутствия водорода в поверхностном слое заготовки на микрогеометрию поверхности при финишной абразивной обработке / О. А. Курсин, Н. И. Егоров, И. Ф. Кожемякин, И. С. Филатов, М. Ю. Полянчикова, С. Ч. Као // Известия ВолГГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 33–35.
3. Формирование структурных связей в абразивном инструменте при дополнительном дроблении зерен электрокорунда / Ю. Н. Полянчиков, Н. И. Егоров, М. Ю. Полянчикова // Известия ВолГГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7(110) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 37–39.

УДК 621.9

*Е. П. Зинина***ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР
ПРИ МОДИФИКАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ*****Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина**

E-mail: ptk@sstu.ru

Предложены условия формирования диссипативных структур при плазменной модификации режущего инструмента. В качестве диссипативных структур выступают атомы аморфной матрицы.

Ключевые слова: резание, диссипативные структуры, наноразмерная фаза, аморфная матрица.

The conditions for the formation of dissipative structures in the plasma modification of the cutting tool. As dissipative structures appear amorphous matrix atoms.

Keywords: cutting, dissipative structures, nanoscale phase, amorphous matrix.

Известно, что при резании изнашивание контактных площадок режущего инструмента происходит в условиях высоких силовых и тепловых нагрузок при активном влиянии внешней среды, что сопровождается непрерывным изменением пространственной формы контактных поверхностей, приводящем к изменению распределения напряжений и температур в зоне фактического контакта. При этом основная доля привнесенной в систему энергии превращается в теплоту, и лишь небольшая ее часть диссипирует, поглощаясь поверхностным слоем материалов контактируемых тел, приводя к перестройке структуры, расходуясь на образование новых поверхностей, на образование и удаление частиц износа.

По этой причине необходимо эффективно управлять тепловым, термодинамическим состоянием зоны контакта, используя разные, в том числе и технологические, способы воздействия, переводящие систему трения в режим самоорганизации.

Однако в научной литературе применительно к режущему инструменту нет однозначного описания диссипативных систем.

Рассмотрим диссипативную структуру с позиций термодинамики. Так, первое начало термодинамики гласит: «Когда система претерпевает превращение, алгебраическая сумма различных изменений энергии – теплообмена, совершенной работы и т. д. – не зависит от способа превращения. Она зависит от начального и конечного состояний» [1] и записывается в виде:

$$\Delta U = Q - A,$$

где ΔU – изменение внутренней энергии сис-

темы; Q – теплота, подведенная к системе; A – совершенная работа.

Предположим, инструмент (система) претерпевает некоторое изнашивание (превращение). Тогда его внутренняя энергия ΔU (алгебраическая сумма изменений энергии) будет складываться из теплоты Q , сообщенной системе (теплообмен между обрабатываемым и инструментальным материалом), и совершенной работы A .

Предположим, что на границе системы «деталь – инструмент» отсутствует диссипативная среда. Тогда пересекающая границу системы теплота Q , генерированная в зоне резания (при совершении механической работы по пластическому деформированию и разрушению материала заготовки и работ сил трения на передней и задней поверхностях [2]), перейдет во внутреннюю энергию инструментального материала и будет перераспределена как на рассеяние тепла, так и на совершение работы деструктивными силами, вызывающими изнашивание и разрушение инструмента (образование микро-, макро- и магистральных трещин).

Предположим, что в буферной зоне на границе системы «деталь – инструмент» сформирована диссипативная структура, в которой частицы в той или иной степени могут взаимодействовать между собой и внешней средой. Тогда тепловой поток, сформированный в процессе резания, проходя через такую диссипативную среду, будет частично поглощен при выполнении работы диссипативными силами, и только часть теплоты трансформируется во внутреннюю энергию инструментального материала. При этом внутренняя энергия и энтропия $S = Q/T$ инструментального материала будут возрастать в меньшей степени, чем в предыдущем случае, а деструктивные процессы разру-

* Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № НК 14-08-00396\14

шения и изнашивания будут протекать с меньшей скоростью, т. е. время работы инструмента повысится. Процесс изнашивания будет протекать и в первом и во втором случаях, однако время достижения конечного состояния инструментом будет различным.

Здесь же возникает логичный вопрос: какая структура в процессе резания может выполнять функцию диссипативной среды? Какая работа может совершаться в диссипативной среде? Каким образом преобразовать контактные поверхности уже изготовленного режущего инструмента так, чтобы в его поверхностных слоях сформировать диссипативную среду?

Можно предположить, что работа диссипативных сил будет совершаться в тонком граничном слое частицами минимального размера за минимальное время. Только в этом случае совершаемая работа диссипации будет максимально эффективная. Тогда, исходя из того, что минимальным размером обладают атомы и минимальное количество частиц – группа атомов, работа диссипации будет представлять собой *работу по необратимому локальному перемещению группы атомов без передачи импульса* за минимальное время. При этом группа атомов должна обладать определенной свободой в своих перемещениях в некотором объеме, оставаясь при этом твердым телом. В поликристаллических материалах атомы кристаллической решетки такой свободой не обладают, в них любое смещение группы атомов приводит к образованию дефектов кристаллической решетки.

В настоящее время единственными из известных материалов, в структуре которых присутствуют свободный объем и атомы, обладающие определенной свободой в своих перемещениях, являются аморфные материалы.

Анализ, выполненный по материалам [3], позволил выявить особенности строения, условий формирования и поведение аморфных структур в условиях температурно-силового воздействия, из которого вытекает ряд требований как к технологическому процессу модификации, так и к модифицируемому инструментальному материалу.

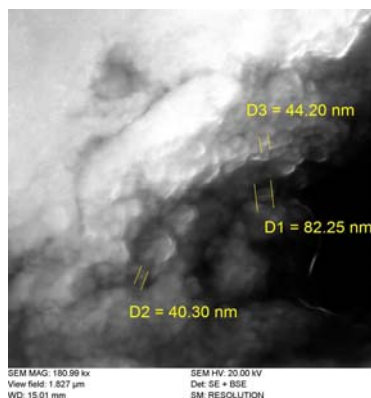
Так, аморфные материалы, формирование которых может происходить в многокомпонентных составах при заметном различии размеров атомов компонентов ($r_1/r_2 < 0,88$ или $> 1,12$) критичны к химическому составу. При этом соотношение компонентов состава должно быть близко к составу типа A_6B , A_3B .

Процесс модификации должен протекать некоторое контролируемое время, позволяющее сформировать в поверхностном слое режущего инструмента структуры, содержащие аморфную фазу. При этом должны быть обеспечены условия по быстрому нагреву и резкому охлаждению модифицируемой поверхности. Такими возможностями могут обладать методы поверхностной обработки, в частности процессы поверхностной модификации в низкотемпературной плазме комбинированного разряда.

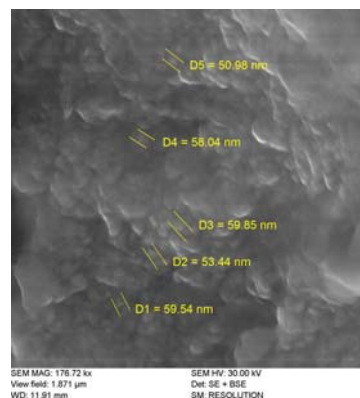
Кроме того, при нагреве в зоне воздействия плазмы должна быть достигнута температура стеклования T_g (температура «замораживания»). Применительно к режущему инструменту эта температура должна превышать или быть равной по своей величине контактным температурам, наблюдаемым в зоне резания. В противном случае при резании будет наблюдаться повышенная нестабильность поверхностных слоев, что приведет к быстрому их истиранию.

В случае нагрева поверхности до температур, лежащих ниже температуры кристаллизации *исходного* покрытия, возможно протекание только структурной релаксации с необратимой стабилизацией исходной структуры (отжиг). В этом случае скорость нагрева и время воздействия плазмы должны быть достаточны для повышения однородности и устранения микропустот в исходной структуре.

Однако если в процессе плазменной модификации будут получены температуры, близкие или превышающие температуры нанесения исходного покрытия, на поверхности произойдет частичное, полное или локальное его расплавление или оплавление. При этом в момент окончания воздействия плазмы начнется резкое охлаждение расплава, что вызовет образование плотноупакованных сферолитных частиц (кластеров), в которых центрами кристаллизации могут выступать зародыши, в том числе из окислов алюминия, ванадия, титана. За время охлаждения расплава до температуры стеклования T_g во вновь образованной структуре будут формироваться наноразмерные кластеры одновременно в большом числе центров кристаллизации, размеры будут зависеть от скорости охлаждения. При неполной кристаллизации в такой структуре одновременно присутствуют наноразмерная фаза в аморфной матрице одного химического состава.



а



б

Структура модифицированного слоя до (а) и после (б) процесса резания

Такая структура (рисунок, а) в условиях температурно-силового воздействия в процессе резания способна, сохраняя свою структуру, диссипировать энергию, совершая работу по локальному перемещению атомов аморфной фазы (рисунок, б). Перемещение атомов приводит к разупорядочиванию структуры. Такая диссипативная среда находится в устойчивом состоянии вплоть до достижения предела текучести аморфной матрицы. При этом время работы инструмента повышается до 3–4 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пригожин, И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур : пер. с англ. / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М. : Мир, 2002. – 461 с.
2. Бржозовский, Б. М. Прогрессивные направления повышения эффективности использования металлорежущего инструмента / Б. М. Бржозовский, В. В. Мартынов, О. В. Захаров, Е. П. Зинина, М. А. Царенко. – Старый Оскол, 2013. – 256 с.
3. Судзуки, К. Аморфные материалы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото ; под ред. Ц. Масумлхо. – М. : Металлургия, 1987. – 328 с.

УДК 621.923

О. А. Курсин, Н. И. Егоров, И. Ф. Кожемякин, И. С. Филатов, С. Ч. Као, А. Д. Акинола

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАВОДОРАЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ЕЕ КАЧЕСТВО ПРИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

В работе исследованы проблемы, возникающие при хонинговании низкоуглеродистых сталей. Предложены пути повышения качества поверхности при финишной обработке. Рассмотрены преимущества наводороживания перед обработкой над цементацией и азотированием. Изучена микрогеометрия обработанных хонингованием поверхностей различной твердости. Построена математическая модель зависимости твердости поверхности от основных параметров наводороживания.

Ключевые слова: хонингование, наводороживание, качество поверхности, низкоуглеродистая сталь, абразивная обработка.

The paper studies problems arising at honing of low carbon steels. Propose ways improving the quality of surface at finishing processing. Discusses the advantages hydrogen saturation of the surface prior to processing over carburizing and nitriding. Studied microgeometry processed honing surfaces of different hardness. Has been built a mathematical model depending of hardness surfaces on the main parameters saturation of the surface by hydrogen.

Keywords: honing, saturation of the surface by hydrogen, quality of a surface, low carbon steel, abrasive processing.

Точные отверстия в различных стальных и чугунных деталях часто окончательно доводят обработкой хонами – головками с раздвижными абразивными брусками. В отличие от шлифования, при котором контактная поверхность

составляет незначительную часть рабочей поверхности круга, при хонинговании брусок постоянно соприкасается с деталью по всей рабочей поверхности. Контакт пары брусок-заготовка способствует повышению производительности

сти обработки и точности формы деталей. Давление при хонинговании на поверхности контакта бруска с деталью – 0,1–1 МПа. Это в 10–100 раз меньше, чем давление при шлифовании. Скорость резания при обработке брусками – 10–100 м/мин, т. е. в 15–100 раз ниже, чем при шлифовании. В результате при хонинговании тепловыделение в зоне обработки значительно ниже, чем при шлифовании, а контактная температура не превышает 150–200 °С. Таким образом, отсутствуют физические причины образования в поверхностном слое микротрещин и прижогов, а также остаточных напряжений растяжения.

Однако на производстве при хонинговании гидропневмоцилиндров, цилиндров компрессоров из «мягких» низкоуглеродистых морозостойких и аустенитных коррозионностойких сталей в нефтяной, химической и пищевой промышленности не удается достичь высокого качества обработанной поверхности: образует-

ся большая шероховатость, задиры и наплывы металла вследствие пластичности обрабатываемого материала. Для повышения качества требуется полирование, что характеризуется высокой трудоемкостью и нестабильностью качества обработанной поверхности.

Известные прогрессивные методы финишной обработки хонингованием позволяют улучшить микрогеометрию на «мягких» материалах не более чем на 20 %.

Для улучшения качества поверхности при финишной обработке деталей из низкоуглеродистых морозостойких и нержавеющей сталей типа 09Г2С, Ст3, 12Х18Н10Т и т. д. предлагается искусственно повышать твердость обрабатываемой поверхности. Так, например, при хонинговании «мягкой» низкоуглеродистой стали 09Г2С (НВ 160) достигается параметр шероховатости R_a 1,75 мкм, а при обработке высокоуглеродистой стали 45 (НВ 350) R_a = 1,1 мкм (рис. 1).

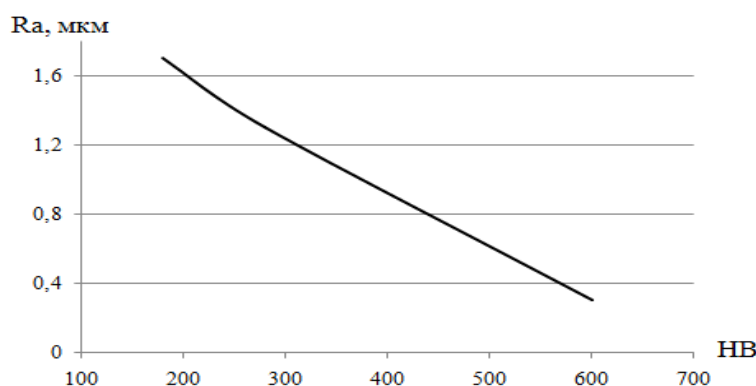


Рис. 1. График зависимости параметра шероховатости R_a поверхности, обработанной хонингованием, от ее твердости для сталей перлитного класса

Известные способы повышения твердости поверхности, такие как азотирование [1], цементация и нитроцементация [2], лазерное легирование поверхностного слоя [3] имеют общие недостатки: снижение коррозионной стойкости изделий вследствие выбивания атомов хрома атомами углерода или азота, что особенно значимо для химической и пищевой промышленности, а также возникают тепловые деформации, появляющиеся при распределении внутренних напряжений вследствие нагрева до температур 700–950 °С. Поэтому данные направления в ряде случаев неприменимы.

Для устранения указанных недостатков авторами предлагается перед процессом абразивной обработки производить наводороживание поверхности [5].

Экспериментально установлено, что насыщение поверхности водородом при помощи электролиза эффективно повышает твердость низкоуглеродистых морозостойких и нержавеющей сталей типа 09Г2С, Ст3, 12Х18Н10Т и т. д.

Рассмотрим более подробно способ хонингования низкоуглеродистых сталей с предварительным наводороживанием поверхностного слоя заготовки.

Данный способ заключается в том, что перед обработкой хонингованием поверхность предварительно насыщают водородом. Процесс проходит в электролитической установке, в качестве электролита используется раствор серной кислоты.

Увеличение твердости достигается в результате того, что в поверхность поступает водород

в атомарном состоянии и превращается в молекулярное, увеличивает объем, разжимает поверхность изнутри и вызывает ее наклеп. В процессе наводороживания происходят следующие процессы: общее уравнение диссоциации электролита – $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$; процесс, происходящий на катоде (поверхность заготовки) – притягиваются катионы H^+ , восстанавливаются ионы H^+ : $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$; процесс на аноде – притягиваются анионы SO_4^{2-} и молекулы H_2O , окисляется вода: $\text{H}_2\text{O} - 2\bar{e} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$.

$$F(X_1, X_2, X_3, X_4) = 582,8 \cdot X_1^{0,088} / (X_2^{0,041} \cdot X_3^{0,239} \cdot X_4^{0,092}). \quad (1)$$

Частная математическая модель зависимости твердости поверхности от времени наводороживания имеет вид:

$$F_1(X_1) = 199,6 \cdot X_1^{0,088}. \quad (2)$$

График зависимости твердости поверхности от времени наводороживания представлен на рис. 2.

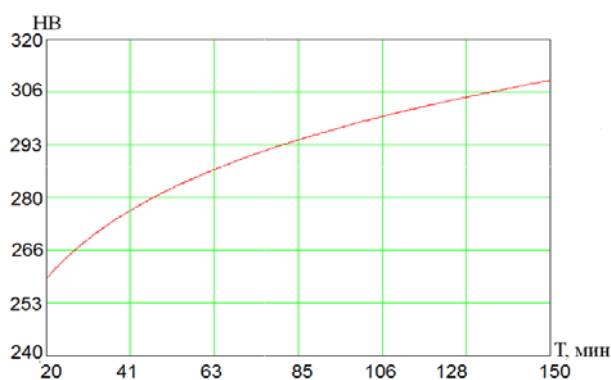


Рис. 2. Зависимость твердости поверхности от времени наводороживания

Из полученной модели видно, что после 60 мин процесса наводороживания твердость увеличивается на 75 % (от HV 160 до HV 285), при этом последующее хонингование позволяет достичь параметра шероховатости R_a 1,2 мкм, что на 35 % меньше, чем при хонинговании этой же стали без наводороживания.

Толщина наводороженного слоя достигает 1,5 мм, что обеспечивает припуск на хонингование.

Твердость поверхности с увеличением времени наводороживания увеличивается в результате большего внедрения водорода в поверхность, а с увеличением концентрации серной кислоты, плотности тока и напряжения повышение твердости снижается, так как процесс

Предлагаемый способ обработки позволяет снизить износ абразивного инструмента до 20 % благодаря уменьшению сил резания из-за меньшей глубины внедрения зерен, что снижает затраты на изготовление изделий.

В ходе проведения серии экспериментов и регрессионного анализа была построена математическая модель (1) степенного вида зависимости твердости HB полученной поверхности от X_1 – длительности наводороживания, мин; X_2 – концентрации серной кислоты, мл/л; X_3 – плотности тока, А/м² и X_4 – напряжения, В.

начинает протекать значительно интенсивнее вне поверхности, вследствие чего образуется воздушная подушка, которая препятствует внедрению водорода в поверхность заготовки.

Таким образом, предлагаемый способ упрочнения поверхности позволяет:

- 1) повысить твердость поверхности заготовки до 100 %;
- 2) снизить параметр шероховатости R_a до 40 %, что увеличивает ее эксплуатационные свойства;
- 3) снизить износ инструмента благодаря меньшему внедрению зерен в обрабатываемую поверхность;
- 4) по сравнению с известными способами химико-термической обработки процесс производится при низких температурах, что исключает деформацию изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лахтин, Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – С. 81–88.
2. Прженосил, Б. Нитроцементация / Б. Прженосил. – М. : Машиностроение, 1969. – 212 с.
3. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
4. Полянчиков, Ю. Н. Исследование влияния твердости обрабатываемого материала на качество поверхности при хонинговании / Ю. Н. Полянчиков, О. А. Курсин, Д. А. Мартус, М. Ю. Полянчикова, Н. И. Егоров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8). – С. 51–54.
5. Курсин, О. А. Влияние присутствия водорода в поверхностном слое заготовки на микрогеометрию поверхности при финишной абразивной обработке / О. А. Курсин, Н. И. Егоров, И. Ф. Кожемякин, И. С. Филатов, М. Ю. Полянчикова, С. Ч. Као // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» 4; вып. 10). – С. 33–35.

6. Полянчиков, Ю. Н. Повышение параметров резания путем поверхностного наводороживания заготовок / Ю. Н. Полянчиков, Н. И. Егоров, М. Ю. Полянчикова // Научно-технический журнал «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 2–2 (292) 2012, март–апрель. – С. 30–34.

7. Пат. РФ № 2305620, МПК В24В 1/00, В24В 33/02. Способ обработки отверстий / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. По-

лянчикова, О. А. Курсин, А. А. Кожевникова. – Оpubл. 10.09.2007 г., Бюл. № 25.

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.

УДК 621.9

А. А. Лунатов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЛАСТИЧЕСКИМ КОНТАКТОМ К ПЛАСТИЧЕСКОМУ И ВЯЗКОМУ КОНТАКТУ ПРИ ОБРАБОТКЕ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: leeandrej@yandex.ru

Рассмотрены особенности перехода от взаимодействия с пластическим контактом к пластическому и вязкому контакту с ростом скорости резания при точении аустенитной стали по сравнению с перлитными сталями. Показано, что этот переход происходит плавно, в широком диапазоне скоростей. Выявленные отличия объяснены другим характером зависимости теплопроводности аустенитной стали от температуры, что вызывает вторичное упрочнение контактных слоев.

Ключевые слова: точение, аустенитная сталь, передняя поверхность, контактное взаимодействие, пластический контакт, пластический и вязкий контакт, износ, лунка, реактивная диффузия.

Considered are the peculiarities of transition from the contact interaction with the plastic contact to plastic and viscous-fluid contact with increasing cutting speed when turning austenitic steel, compared with pearlitic steels. It is shown that this transition occurs smoothly, in a wide range of speeds. The identified differences are explained by the different character of the temperature dependence of the austenitic steel's thermal conductivity, which causes a secondary hardening of contact layers.

Keywords: turning, austenitic steel, front surface, contact interaction, plastic contact, plastic and viscous-fluid contact, wear, crater, reactive diffusion.

Установлено [1–3], что контактное взаимодействие при резании аустенитных сталей существенно отличается от присущего обработке углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса [4], что обусловлено различным характером зависимости теплопроводности этих групп обрабатываемых материалов от температуры. При этом в работах [1–3] развитие контактного взаимодействия с ростом скорости резания v подробно рассмотрено лишь в части перехода от нароста к пластическому течению.

Для перлитных сталей теплопроводность λ резко понижается с ростом температуры θ [5–7]. Поэтому повышение контактной температуры приводит к уменьшению теплопроводности контактных объемов стали и стока теплоты в стружку, что ведет к еще большему росту θ (положительная обратная связь по температуре). В результате переход от нароста к пластическому течению происходит скачкообразно, практически при фиксированной скорости, названной «переходной» – v_n [4]. При $v > v_n$ застойные явления полностью отсутствуют: в ходе перемещения по длине контакта металл последова-

тельно проходит стадии деформационного упрочнения и температурного разупрочнения. В конце участка разупрочнения (начале лунки) пластическая деформация локализуется и сменяется вязким течением металла в тончайшем слое. Таким образом, переход от застойных явлений к пластическому течению сопровождается *одновременным* появлением вязкого течения. Этот, последний на шкале скоростей, вид взаимодействия был назван «пластическим и вязким контактом» (ПВК) [4].

Для аустенитных сталей с ростом θ теплопроводность, наоборот, увеличивается. Поэтому в контактной зоне имеет место *отрицательная* обратная связь по температуре – с интенсификацией отвода тепла в стружку в ходе перемещения металла по длине контакта. В результате на некотором расстоянии от режущей кромки деформационное упрочнение вновь может возобладать над температурным разупрочнением, что было названо вторичным упрочнением контактных слоев [1]. Поэтому переход от нароста к пластическому течению осуществляется в широком интервале скоростей v с наличием за-

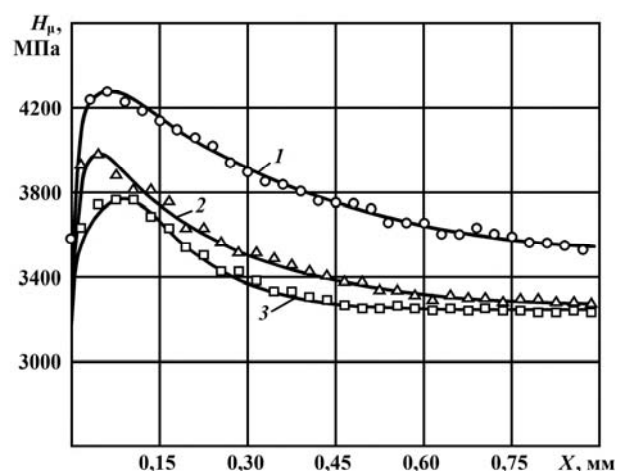
стойной зоны со смещенным (к концу контакта) наростом (постепенно уменьшающимся с ростом v) [1–3]. После перехода к пластическому течению увеличение v из-за отрицательной обратной связи по температуре не сопровождается одновременным зарождением вязкого течения – имеет место взаимодействие с пластическим контактом без вязкого (ПК), что подтверждается *полным* отсутствием лункообразования.

Однако последний факт можно объяснить и по-другому – явлением реактивной диффузии, свойственным обработке высоколегированных сталей и препятствующим растворению твердого сплава (ТС) в обрабатываемой стали [8].

В настоящей статье предпринята попытка разобраться в этом вопросе путем подробного рассмотрения и анализа экспериментальных данных, касающихся перехода от ПК к ПВК с ростом v .

В основном объеме экспериментов при точении стали 12Х18Н10Т использовались резцы из ВК6 – вольфрамокобальтового ТС с меньшей сопротивляемостью лункообразованию. Реже применялся титанотанталовый ТС ТТ20К9, перспективный для обработки аустенитных сталей [9]. Режимы резания – $v = 30\text{--}180$ м/мин при подаче 0,3 мм/об и глубине 1,5 мм. Основная геометрия резцов: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$. Микротвердость на микрошлифах корней стружек определяли прибором ПМТ-3. Профилограммы передних поверхностей записывались на профилографе К-201.

Для определения микротвердости контактных слоев стали, максимально приближенных к передней поверхности, уколы наносились на



Изменение микротвердости $H_{ц}$ контактного слоя стали по длине контакта X (12Х18Н10Т – ВК6; 4 мкм от передней поверхности; нагрузка на индентор 0,2 Н):
1 – $v = 60$ м/мин; 2 – $v = 75$ м/мин; 3 – $v = 120$ м/мин

косых срезах корней стружек (в виде тупого клина – обрабатываемый материал). Истинное расстояние от ряда уколов до ТС, рассчитанное через угол косого среза (15°), составило 4 мкм. Графики изменения микротвердости контактного слоя стали ($H_{ц}$) по длине контакта (X) для нескольких v выше скорости перехода к пластическому течению представлены на рисунке.

Для $v = 60$ м/мин (кривая 1) величина $H_{ц}$ снижается в результате температурного разупрочнения практически на всей длине контакта. График переходит в горизонталь не в предполагаемом начале участка лунки, как для перлитных сталей [4], а перед самым отрывом стружки от передней поверхности. Наличие взаимодействия с ПК без вязкого контакта очевидно. При увеличении v до 75 м/мин (кривая 2) говорить с достаточной степенью достоверности о снижении микротвердости по всей длине контакта (особенно на последней трети) уже сложно. Но нельзя уверенно говорить и об обратном – о стабилизации величины $H_{ц}$. Выход кривой $H_{ц}(X)$ на горизонтальный участок в пределах контакта достоверно фиксируется лишь для гораздо большей скорости $v = 120$ м/мин (кривая 3).

Постепенный переход к вязкому течению с ростом скорости v подтверждают фотографии и профилограммы передних поверхностей. После почти двухчасового резания с $v = 60$ м/мин поверхность контакта сложно назвать лункой – она шероховатая, а износ не превысил 2–3 мкм. Сохранение при $v = 75$ м/мин взаимодействия с ПК подтверждается исчезновением следов заточки лишь на небольшой части площади контакта только после 10 мин резания. Гораздо раньше (через 2,6 мин) это происходит при несколько большей скорости $v = 80$ м/мин. Однако шероховатая поверхность износа и здесь свидетельствует об отсутствии перехода к ПВК. После 2,4 мин резания с $v = 90$ м/мин намечается появление более гладких участков, характерных для изнашивания по механизму прямого диффузионного растворения. Для 100 м/мин (1,7 мин резания) площади гладких и шероховатых участков на лунке (уже имеющей четко очерченные границы) примерно равны. Визуально вся поверхность лунки становится гладкой при $v = 110$ м/мин. А при росте v до 120 м/мин шероховатость поверхности лунки дополнительно уменьшается, что фиксируют профилограммы. Описанный переход сопровождается возрастанием интенсивности износа более чем

на порядок. Скорость увеличения глубины лунки (в мкм на 1 км длины пути резания) составила: для $v = 75$ м/мин – 2,2 мкм/км, для $v = 90$ м/мин – 5,2 мкм/км, для $v = 100$ м/мин – 28 мкм/км, для $v = 120$ м/мин – 83 мкм/км.

Таким образом, переход от взаимодействия с ПК к ПВК осуществляется постепенно, в широком диапазоне скоростей (90–120 м/мин).

Для гораздо менее теплопроводного ТС ТТ20К9 из-за большей контактной температуры переход к ПВК должен происходить при меньших v (как и предшествующий переход от застойных явлений к ПК, что зафиксировано в [2]). Соответственно, износ передней поверхности на резцах из ТТ20К9 обнаружен при меньших v , чем для ВК6. Следы заточки для ТТ20К9 исчезали после 30 мин резания уже при $v = 30$ м/мин (тогда как у резцов из ВК6 этого не наблюдалось после нескольких часов точения с $v = 45$ м/мин). А при $v = 60$ м/мин следы заточки на резцах из ТТ20К9 начинали исчезать гораздо раньше, чем у ВК6 (3 мин против 30 мин).

В то же время резкого увеличения интенсивности лункообразования на резцах из ТТ20К9, подобного обнаруженному для ВК6 (и ожидаемого для меньших, чем для ВК6, скоростей), не зафиксировано вплоть до $v = 180$ м/мин. Причина в том, что реактивная диффузия для ТТ20К9 в полной мере проявляется при больших скоростях и температурах резания [8] из-за наличия в ТС титаносодержащих карбидов с гораздо более высокой температурой диссоциации, чем у WC. Поэтому даже при вязком контакте износ передней поверхности осуществляется не по механизму прямого диффузионного растворения, как у ВК6, а преимущественно путем разрушения поверхностного дефектного слоя, формирующегося из-за диффузии в ТС химических элементов стали [10]. Поверхность «лунки» для ТТ20К9 для самых высоких v шероховатая, с многочисленными следами вырывания не только отдельных карбидов, но и крупных блоков карбидов.

Таким образом, из-за увеличения теплопроводности аустенитной стали с ростом температуры и препятствующей температурному разупрочнению отрицательной обратной связи по температуре контактной зоны переход от ПК к ПВК (как и предшествующий переход от за-

стойных явлений к ПК), осуществляется плавно, в широком диапазоне скоростей резания (в отличие от обработки перлитных сталей). При этом для ТС с меньшей теплопроводностью скоростной диапазон перехода смещается (как и в случае обработки перлитных сталей) в сторону меньших скоростей резания.

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. Особенности контактного взаимодействия при обработке высоколегированных сталей / А. А. Липатов // Обработка металлов. – 2012. – № 4. – С. 10–14.
3. Липатов, А. А. Особенности перехода от наростообразования к взаимодействию с пластическим контактом при обработке аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7(110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 31–34.
4. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.
5. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.
6. Липатов, А. А. Применение экстраполяционных и итерационных методов в инженерных теплофизических расчетах / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11(84) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»; вып. 12). – С. 26–29.
7. Липатов, А. А. Расчет температуры на режущих поверхностях инструмента с учетом зависимости теплопроводности обрабатываемого материала от температуры / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2012. – № 7. – С. 28–30.
8. Lipatov, A. A. Reactive diffusion in cutting high-alloy steel by means of a hard-alloy tool / А. А. Липатов // Russian Engineering Research. – 2013. – Vol. 33, № 3. – P. 144–149. – Англ.
9. Липатов, А. А. Работоспособность титанотанталовых твердых сплавов при резании труднообрабатываемых материалов / 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. Особенности диффузионного изнашивания вольфрамкобальтового твердого сплава при точении высоколегированной аустенитной стали / А. А. Липатов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 39–42.

УДК 621.9.025.01:519.2

*В. В. Мартынов, Е. С. Плешакова***БАЗА ЗНАНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ
МОДИФИЦИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА*****Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина**

E-mail: ptk@sstu.ru

Представлена структура и правила формирования базы знаний автоматизированной системы оценивания качества процесса эксплуатации режущего инструмента, модифицированного воздействием низкотемпературной плазмы.

Ключевые слова: модифицированный режущий инструмент, качество процесса эксплуатации, автоматизированное оценивание, база знаний.

The structure of rules and building a knowledge base of the automated system operation quality evaluation process of the cutting tool, the influence of the modified low-temperature plasma are represented.

Keywords: modified cutting tool, quality of the process operation, knowledge base.

Материалы исследований, выполненных по проблеме оценивания качества процесса эксплуатации металлорежущего инструмента, модифицированного воздействием низкотемпературной плазмы комбинированного разряда, определили целесообразность создания компьютерной системы, позволяющей выполнять все действия по оцениванию состояния автоматизированно. Для этого необходимо решение следующих принципиальных задач [1, 2]:

- разработка способа получения информации о состоянии рабочей части;
- разработка программно-математического обеспечения для анализа полученной информации.

Решение первой задачи, по сути, связано с созданием подсистемы распознавания образов, которыми являются дефекты, с целью формирования базы данных для изучения процессов, приводящих к их образованию. Для этого необходимо:

- обосновать методику регистрации рабочей части модифицированного инструмента с использованием техники цифровой микрофотографии ее поверхности, в том числе со сверхвысоким разрешением;
- разработать процедуру анализа микрофотографий;
- обосновать методики структурного, морфологического и химического анализов модифицированного поверхностного слоя.

Основным результатом работы подсистемы являются данные о виде и характере дефектов, их местоположении и размерах, морфологическом и химическом составе поверхности, а так-

же условиях их формирования (полной совокупности эксплуатационных параметров). Данные объединяются в единую базу для последующей статистической обработки, основная цель которой заключается в получении информации о закономерностях и причинах изменения состояния модифицированной рабочей части инструмента. Эта информация становится исходной для создания базы знаний, на основе которой разрабатываются алгоритмы анализа и производственные правила, т. е. решается вторая задача, связанная с созданием подсистемы оценивания состояния модифицированного инструмента, вплоть до восстановления траектории его изменения в процессе эксплуатации, отображающей механизм изнашивания. Результаты оценивания используются для поиска эффективных направлений обеспечения эксплуатационной надежности модифицированного инструмента как на этапе подготовки, так и в процессе эксплуатации, в частности, за счет оптимизации сочетаний режимных параметров процессов модификации и резания. Это позволит, целенаправленно изменяя характер и степень воздействия дефектов на модифицированный слой, стабилизировать его состояние и на этой основе обеспечить повышение не только износостойкости, но и отказоустойчивости инструмента.

Изложенное означает, что ядром системы является не комплекс привлекаемых для ее создания технических средств (практически все они являются стандартными), а программно-математическое обеспечение, наиболее важным модулем которого является база знаний. Разработка модуля связана, по сути, с решением вопроса о представлении знаний; наиболее часто для этого используются семантические сети или фреймы [3]. Однако с учетом того, что

* Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № НК 14-08-00396\14

в данном случае знания несут в большей степени информационную функцию, целесообразным является их представление в виде гипертекста (электронного справочника), структура

(содержание) которого разрабатывается на этапе решения принципиальных вопросов, связанных с созданием системы, прежде всего, с обоснованием структуры базы ее данных.

Текст

Введите текст:

– переместить

– выход

Рисунок

Введите рисунок:

Введите название:

Введенный рисунок

– переместить

– выход

Таблица

Введите название:

Задайте: число строк число столбцов

Таблица

– переместить

– выход

Рабочие окна для внесения знаний в систему

Формирование гипертекста происходит в режиме сеансного интерактивного взаимодействия с системой и предполагает последовательное выполнение следующих действий:

- внесение в базу информации: текстовой, графической или табличной (изображено на рисунке);
- перемещение внесенной информации в соответствующий раздел справочника;
- размещение и форматирование информации в разделе;
- сохранение измененного раздела.

Предусмотрено также редактирование уже сформированных разделов.

Воспроизведение справочника может осуществляться как полностью, так и фрагментарно на основе переходов по гиперссылкам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированное оценивание качества процесса эксплуатации модифицированного инструмента по параметрам дефектов рабочей части / Б. М. Бржозовский, В. В. Мартынов, Е. П. Зинина, Е. С. Плешакова // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование материалы – 2013: матер. Междунар. науч.-техн. конф. и форума «Повышение конкурентоспособности и энергоэффективности машиностроительных предприятий в условиях ВТО». Ч. 2. – Казань, Фолиант, 2013. – С. 28–31.
2. Обоснование способа оценивания состояния рабочей части модифицированного режущего инструмента / Б. М. Бржозовский, Е. П. Зинина, В. В. Мартынов, Е. С. Плешакова // Наука и образование в XXI веке: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. В 34 ч. Ч. 27. – Мин. обр. и науки РФ. Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 31–33.
3. Назаретов, В. М. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 6. Техническая имитация интеллекта: учеб. пособие / В. М. Назаретов, Д. П. Ким ; под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. шк., 1986. – 144 с.

УДК 621.774.353

А. С. Сенякина, А. И. Банников, О. А. Макарова

АНАЛИЗ И ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОПРАВОК ПРОШИВНОГО СТАНА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@mail.ru

Для того, что уменьшить вероятность появления различных дефектов на оправке прошивного стана, необходимо выяснить причины их возникновения.

Ключевые слова: оправка прошивного стана, износостойкость, дефект, оксидный слой.

In order to reduce the probability of occurrence of various defects on the mandrel piercer, you can determine their causes.

Keywords: mandrel of piercing mill, wear resistance, defect, oxide layer.

При работе оправки подвергаются циклическому воздействию высоких температур и резкому их снижению при охлаждении, силовым деформация и др., что приводит к различного рода дефектам [1].

Целью данной работы является установление возможных причин выхода из строя литых оправок из стали 20Х2Н4МФ.

На оправках были обнаружены следующие виды дефектов:

1. Сетка разгара. Проскальзывание трубы на оправке в начальный момент захвата приводит к избирательному износу, который можно характеризовать с точки зрения локальной температурной нестабильности как абразивный износ защитной окисной пленки и повышенного разогрева подокисных слоев металла [2]. Совпадение этого участка с участком максимальной степени деформации гильзы приводит к ускорению износа оправки: появлению сетки разгара и ее развитию в глубокие продольные трещины (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид оправки с глубокой сеткой разгара и зоной разрушения рабочей части

2. «Гофр» (волнистая поверхность). Пластические смещения металла контактных подокисных слоев на рабочей поверхности оправки чаще всего наблюдается в результате нарушения режима работы системы охлаждения оправок [3], и образуется волнистая поверхность – «гофр», сопровождаемый искажением продольного профиля оправки (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид оправки с износом рабочей части «гофра»

3. Глубокие трещины напряжения, идущие от наружной поверхности вглубь тела оправки. В процессе работы оправок непрерывного стана происходит их многократный нагрев и охлаждение [4], при этом в металле оправки возникают внутренние напряжения, приводящие к термической усталости и образованию разгарных трещин (рис. 3). Этот эффект представляет собой направленную вглубь металла трещину под прямым углом к поверхности, образующуюся вследствие объемных изменений, связанных со структурными превращениями металла оправки под воздействием циклических температурных режимов нагрева и охлаждения.



Рис. 3. Трещина напряжения в оправке непрерывного стана

Практика работы оправок прошивного стана и анализ литературных данных показывают, что к качеству поверхности оправок предъявляются особые требования. То есть уменьшить вероятность появления данных дефектов можно при помощи специальной термообработки поверхности.

Специалисты применяли поверхностное упрочнение оправок химико-термической обработкой, ионное азотирование поверхности оправок, однако результаты были отрицательны-

ми. Испытывались оправки с покрытием никелем и кобальтом; при этом стойкость оправок повышалась незначительно, а стоимость увеличивалась в 2–3 раза [5].

Также был предложен метод электролитического хромирования, однако циклически изменяющаяся в процессе работы оправок температура ее рабочей поверхности вызывает образование разгарных трещин и в хромовом покрытии из-за большого числа неметаллических включений [6, 7].

Минусы, которые содержит в себе электролитическое хромирование, могут убираться при использовании вместо него оксидной пленки. При этом повышается окалино-адгезионная стойкость, износостойкость, твердость, коррозионная стойкость.

Главным достоинством этого покрытия является то, что оно не уносится с поверхности оправки, как хромированное покрытие, так как происходит процесс диффузии между пленкой и поверхностью оправки без пор и микротрещин, то есть без дефектов. Прочность соединения покрытия и основного покрытия металла характеризуется глубиной проникновения элементов покрытия в основной металл, то есть толщиной диффузионного слоя. Интенсификацию диффузионных процессов обеспечивает специальная химико-термическая обработка. В результате чего при прошивке не происходит контактного схватывания металла оправки и трубы в процессе их совместного пластического деформирования, что увеличивает производительность.

Вывод

Исследование стойкости оправок показало, что есть ряд различных дефектов, которые имеют свои причины возникновения, к ним относятся: температурная нестабильность как абразивный износ защитной пленки и повышенного разогрева подокисных слоев металла, привод к появлению сетки разгара и ее развитию в глубокие продольные трещины; внутренние напряжения, которые способствуют развитию процессов термической усталости и образованию на поверхности инструмента трещин; из-за нарушения режима работы системы охлаждения на рабочей поверхности оправки образуется волнистая поверхность – «гофр»; из-за сил трения в непрерывном стане оправки в процессе эксплуатации происходит разупрочнение ее поверхностных слоев и, как следствие, появляется такой дефект как «комета». Исходя из природы

появления этих дефектов нужно провести термо-химическое упрочнение для получения оксидной пленки на поверхности оправки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чикалов, С. Г. Исследование работы технологического инструмента непрерывного стана ТПА 159-426 / С. Г. Чикалов, А. П. Фадеев, А. П. Коликов // Сталь. – 1999. – № 3. – С. 38–44.
2. Чучвага, А. П. Повышение стойкости оправок стана пресс-валковой прошивки на ТПА 159-426 / А. П. Чучвага, Б. М. Фискин, В. В. Фролочкин, Л. А. Баландина // Сталь. – 2000. – № 2. – С. 51–52.
3. Касьян, В. Х. Влияние температурно-силовых условий деформации на стойкость прошивных оправок / В. Х. Касьян, С. В. Мазур // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 2003. – № 2. – С. 57–61.
4. Вавилкин, Н. М. Особенности износа водоохлаждае-

мых оправок при прошивке легированных сталей / Н. М. Вавилкин, В. С. Гончаров, Д. В. Бодров // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 7. – С. 37–41

5. Романцев, Б. А. Повышение износостойкости оправок прошивного стана / Б. А. Романцев, О. К. Матыко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 8. – С. 16–19.

6. Зюбан, Н. А. Исследование влияния окисленности металла на формирование оксидных, сульфидных и окси-сульфидных включений и свойств готовых изделий / Н. А. Зюбан, С. А. Пегишева, О. А. Шевцова, Н. В. Клячина // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 6(109) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении» ; вып. 7). – С. 125–127.

7. Сенякина, А. С. Анализ влияния неметаллических включений на стойкость оправок прошивного стана / А. С. Сенякина, О. А. Макарова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 4). – С. 58–60.

УДК 621.787.4

Ю. И. Сидякин, В. Л. Маклецов

ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КРУПНЫХ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ РЕЗЬБ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: stanki@vstu.ru

Рассмотрено технологическое и инструментальное обеспечение отделочно-упрочняющей обработки крупных трапецеидальных резьб ходовых винтов поверхностным пластическим деформированием с целью повышения их долговечности и износостойкости.

Ключевые слова: обкатка, резьба, упругопластическая деформация, ролик.

The technological and tool maintenance of finishing hardening processing of lead screw big trapezoidal threads by surface plastic deforming for the purpose of their longevity and wear resistance increase has been examined.

Keywords: generating process, thread, elastoplastic deformation, roller.

Современные машиностроительные производства предъявляют повышенные требования к надежности и долговечности продукции, к ее наиболее ответственным деталям, при этом особое внимание уделяется состоянию их поверхностных слоев. Как известно, качественная оценка этого состояния производится по ряду критериев, среди которых геометрические характеристики (микрорельеф, волнистость, шероховатость) и физико-механические свойства (структура, микротвердость и пр.), которые формируются, как правило, на финишных технологических операциях обработки.

Среди многочисленных физико-механических способов повышения качественных показателей поверхностей деталей, наряду с термической и термохимической обработками, шлифованием, полированием и пр., особое место занимают методы, основанные на поверхностном пластическом деформировании (ППД).

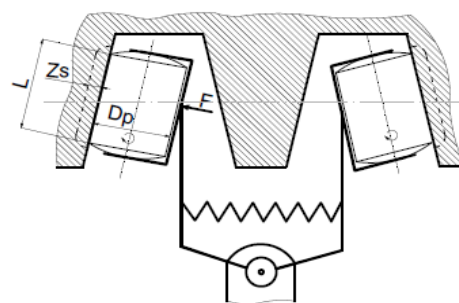
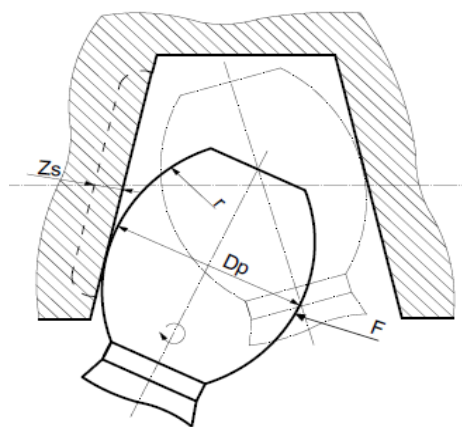
К числу наиболее эффективных и широко распространенных относится обкатка деталей роликами, позволяющая не только существенно повышать пределы выносливости деталей и обеспечивать высокое качество обработки [1, 2], но и за счет создания специального микрорельефа удерживать смазку, увеличивать контактную прочность и износостойкость мест сопряжений отдельных деталей в конструкциях.

Несмотря на то, что обкатке роликами большей частью подвергаются валы, она успешно применяется на ряде машиностроительных предприятий для повышения циклической прочности резьбовых соединений, в частности, крупных резьб различного горного оборудования, ходовых винтов механизмов передач металлообрабатывающих станков и пр. К ходовым винтам, особенно в станках высокой точности, предъявляются повышенные требования по обеспечению плавности хода, равномерно-

сти и точности воспроизведения движения суппорта. Дело в том, что эти валы в силу специфики своей работы имеют различный износ по длине, из-за чего возникают люфты и неравномерность подачи инструмента, а поэтому для устранения данного недостатка эти участки должны быть дополнительно упрочнены. Ниже рассмотрена возможность применения упрочняющей технологии, основанной на ППД, к ходовому винту станка 16К20, имеющему трапецеидальную резьбу Tr 44x12.

Ведущими промышленными предприятиями страны, в частности УРАЛМАШ заводом совместно с ЦНИИТМАШем, накоплен богатый опыт по технологическому обеспечению процессов упрочняющей механической обработки витков крупных резьб на деталях различного функционального назначения. Одним из эффективных признан способ обкатки бочко-

образными роликами витков крупномодульных червяков и трапецеидальных резьб по методу огибания [1], особенностью которого является создание взаимосвязанных движений инструмента и детали, причем их взаимное огибание осуществляется как в плоскости поперечного, так и в плоскости осевого сечения ролика. Схема обкатки резьбы трапецеидального профиля по этому методу представлена на рисунке, а. Кинематическая схема устройства, обеспечивающая эти движения, подробно описана в работе [1] и на этом рисунке не показана. Подача ролика производится поворотом его оси в плоскости осевого сечения ходового винта в пределах угла до 50° , при этом точка контакта витка резьбы и ролика будет перемещаться по образующим их профилей, поочередно переходя с одного на другой. Обкатку рекомендуется производить за 3...4 прохода инструмента.



Схемы обкатки витков трапецеидальной резьбы бочкообразным роликом по методу огибания (а) и цилиндрическими роликами (б)

В соответствии с положениями, выдвинутыми и обоснованными в работе [2], технологические режимы отделочно-упрочняющей обработки, разумно сочетающей в себе и эффективность упрочнения, и высокое качество обработки поверхностей, применительно к ходовым винтам [1] должны обеспечить получение интенсивности контактной упругопластической деформации на поверхности $\varepsilon_{i,0} \approx (0,5...0,8)\varepsilon_p$ и глубину Z_s упрочненного слоя в витках не ниже той, которая достигается применением традиционных способов, например, закалкой ТВЧ, т. е. должна быть не ниже 0,5 мм. При конструктивных размерах ролика ($D_p = 5$ мм, профильный радиус $r = 20$ мм), позволяющих разместить его во впадине обкатываемой резьбы,

и материале винта из улучшенной стали 45 твердостью $\approx$ НД2400 (ГОСТ 18835–73) усилие обкатки F , которое ограничивается прочностью на изгиб оси ролика, при $Z_s = 0,5...0,6$ мм [2] составит около 300...400 Н.

В качестве альтернативного варианта может быть предложена и другая схема обработки витков трапецеидальной резьбы с использованием коротких цилиндрических роликов (рисунок, б). Они размещаются в углублениях желобообразной цилиндрической формы в двух рычагах и могут нагружаться усилием, создаваемым либо предварительно сжатой пружиной, либо силами упругости самих рычагов. Расчеты, выполненные по рекомендациям работы [3], которые относятся к процессам ППД с первоначально линейным контактом тел, примени-

тельно к данному ходовому винту обеспечива-
ют получение в его витках при размерах ролика
($D_p = 4$ мм и $L = 5$ мм) такую же глубину z_s на-
клепанного слоя при нагрузке $F \approx 2$ кН, что
вполне приемлемо для принятой схемы обра-
ботки.

Обкатные ролики могут иметь незначи-
тельную конусность в направлении оси обрабаты-
ваемого винта для компенсации разницы ок-
ружных скоростей (т. е. их выравнивания) в край-
них точках контактной зоны инструмента и по-
верхности витка. Скольжение роликов и тре-
ние, которые не исключены при такой схеме
обработки витков резьбы, могут создать в уп-
роченном поверхностном слое дополнитель-

ные сдвиговые деформации [2], которые только
положительно скажутся на уровне микротвер-
дости поверхности, а следовательно, и на ее из-
носостойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Браславский, В. М. Технология обкатки крупных
деталей роликами / В. М. Браславский. – М. : Машино-
строение, 1975. – 160 с.
2. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластиче-
ской контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин,
Ю. И. Сидякин. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
3. Матлин, М. М. Закономерности упругопластиче-
ского контакта в задачах поверхностного пластического
упрочнения : монография / М. М. Матлин, С. Л. Лебский,
А. И. Мозгунова. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 218 с.

УДК 621.923

Е. М. Фролов, М. А. Солдатова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: soldatova.m93@gmail.com

В данной статье исследуется проблема оценки качества прикладного программного обеспечения техни-
ческого назначения. Представлены классификации прикладных программ и основные способы оценки их
качества, полученные путем исследования.

Ключевые слова: прикладная программа, сопровождаемость, переносимость, портрирование, тестирование.

Problem of evaluation of applied program for technical needs is investigated in this article. There are a classifi-
cation of applied program and basic methods of evaluation they, which get by theoretical study.

Keywords: applied program, maintainability, portability, porting, testing.

В настоящее время разработка собственного
программного обеспечения для нужд предпри-
ятия становится все более выгодной и экономи-
чески целесообразной. Как правило, приобрете-
ние прикладных программ сторонних произво-
дителей является дорогостоящим вследствие
того, что для удовлетворения каких-либо потре-
бительских запросов такая программа может
быть «громоздка», а также включать в себя эле-
менты, в которых предприятие не нуждается.
В связи с этим нередко выгоднее разрабатывать
программы самостоятельно. Но, в отличие от
программ сторонних производителей, которые
уже прошли тестирование и в редких случаях
нуждаются в дополнительном контроле, при раз-
работке собственного прикладного программно-
го обеспечения необходимо проводить его оцен-
ку в соответствии с какой-либо методикой.

Для разработки методики тестирования не-
обходимо понять, по каким критериям должно
оцениваться прикладное программное обеспе-
чение и что оно из себя представляет.

Прикладное программное обеспечение
предназначено для разработки и выполнения
конкретных задач (приложений) пользователя.

Различают следующие типы прикладного
программного обеспечения:

- общего назначения;
- методо-ориентированное;
- проблемно-ориентированное;
- для глобальных сетей;
- для организации (администрирования) вы-
числительного процесса.

Рассмотрим подробнее прикладное про-
граммное обеспечение общего назначения как
наиболее часто требуемое. Прикладное про-
граммное обеспечение общего назначения – это
универсальные программные продукты, пред-
назначенные для автоматизации разработки
и эксплуатации функциональных задач пользо-
вателя и информационных систем в целом.
К ним относятся:

- текстовые и графические редакторы;
- электронные таблицы;

- системы управления базами данных (СУБД);
- интегрированные пакеты;
- Case-технологии;
- оболочки экспертных систем и систем искусственного интеллекта.

Несмотря на такой обширный ассортимент видов прикладных программ существуют общие критерии их оценки. Одним из подходов для оценки программных средств является оценка соответствующих атрибутов качества, определенных в серии международных стандартов ГОСТ Р ИСО МЭК 9126 «Информационная технология – Оценка программной продукции».

Модель характеристик качества программного обеспечения состоит из нескольких видов атрибутов качества:

- внутренние атрибуты качества (требования к качеству кода и внутренней архитектуре);
- внешние атрибуты качества (требования к функциональным возможностям и т. д.);
- атрибуты «качества в использовании» (данные атрибуты относятся не только к программному средству, но и ко всей информационной системе и характеризуют ее эффективность по комплексу показателей).

Согласно стандарту, существуют шесть основных показателей качества прикладного программного обеспечения: функциональность, надежность, удобство, эффективность, сопровождаемость, переносимость. Если смысл первых четырех очевиден и применим практически к любому виду продукции, последние следует рассмотреть подробнее.

Согласно ГОСТ 28806–90 «Качество программных средств. Термины и определения»: «Сопровождаемость программного средства (maintainability) – совокупность свойств программного средства, характеризующая усилия, которые необходимы для его модификации. Примечание: модификация может осуществляться для устранения дефектов, усовершенствования программного средства или его адаптации к изменениям в условиях функционирования, а также в составе и особенностях требуемых функций».

Под переносимостью программного обеспечения, как правило, понимается перенос или

портирование (под портированием понимают адаптацию некоторой программы или ее части с тем, чтобы она работала в среде, отличной от той, под которую она была изначально написана) в новые приложения некоторой части работающих программ, что также имеет большое практическое значение и непосредственно относится к целям открытости систем.

Для обеспечения качественной работы программного обеспечения необходимо провести тестирование его надежности. Существует несколько классификаций методов тестирования. Например, по уровням:

- модульное, при котором тестируется минимально возможный для тестирования компонент. Например, отдельный класс или функция;
- интеграционное, при котором проверяется, есть ли какие-либо проблемы в интерфейсах и взаимодействии между интегрируемыми компонентами;
- системное, при котором тестируется интегрированная система на ее соответствие исходным требованиям.

Очевидно, что показателей качества и методов тестирования огромное количество и использовать их все экономически нецелесообразно. Таким образом, ввиду возрастающей потребности создания «собственного» прикладного программного обеспечения технологического назначения необходимо выявить те свойства программного обеспечения, которые являются ключевыми для предприятия и подобрать в соответствии с ними методы тестирования, то есть разработать методику оценки качества прикладного программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключков, Д. С. Программный модуль автоматизированного анализа экспериментальных данных / Д. С. Ключков, Е. М. Фролов // Новые материалы и технологии – НМТ-2012 : матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию МАТИ, 20–22 нояб. 2012 г. / МАТИ – Рос. гос. технол. ун-т им. К. Э. Циолковского. – М., 2012. – С. 144–145.
2. ГОСТ 28806–90 «Качество программных средств. Термины и определения». – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 35 с.
3. Алехин, А. Г. Моделирование производственных систем в пакете прикладных программ MathLab / А. Г. Алехин, С. Г. Тюленев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – Вып. 13. – С. 98–100.

УДК 658.512 ; 519.246

Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская, Л. А. Качалова

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННОЙ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Предложена и обоснована структура многотабличной рабочей книги табличного процессора, позволяющая компактно представить расчеты, связанные с определением параметров регрессионных моделей трех основных спецификаций: линейной, степенной и показательной. Предусмотрена возможность оценки и сравнения погрешностей моделирования и достоверности получаемых моделей.

Ключевые слова: регрессионная модель, электронная таблица, многофакторная модель, парная корреляция.

Proposed and substantiated the structure of multi-sheet workbook, spreadsheet, allowing agencies to submit calculations related to determination of the parameters of the regression models are three main specifications: linear, polynomial and exponential. Possibility of an estimation and comparison of modeling errors and validity of the obtained models.

Keywords: regression model, spreadsheet, multi-factor model, pair correlation.

Многофакторное регрессионное моделирование является наиболее распространенным [2, 4] средством статистической обработки и анализа экспериментальных данных. Рассматривая [3] возможность применения табличных процессоров – например, широко распространенных пакетов программ MS Excel или Open Office Calc, – для расчета параметров многофакторных регрессионных моделей, мы пришли к следующим выводам.

1. Полноценное использование результатов моделирования, т. е. не только количественное прогнозирование ожидаемых результатов процесса, но и возможность сравнительного анализа влияния факторов на функцию отклика, возможно только при построении модели на основе предварительно нормированных [3] данных.

2. Точность и достоверность [3, 4] моделирования при использовании стандартных функций табличного процессора для расчета параметров линейной регрессии являются недопустимо низкими.

3. Удовлетворительные результаты в отношении погрешности и достоверности могут быть получены при использовании нормированных исходных данных и специального расчетного шаблона электронной таблицы.

При проведении исследований в области теории резания и технологии машиностроения в качестве моделей рассматриваются [1, 4], как правило, линейные (1), степенные (2) и экспоненциальные (3) математические зависимости.

$$R = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \Phi_j, \quad (1)$$

$$R = a_0 \cdot \prod_{j=1}^n \Phi_j^{a_j}, \quad (2)$$

$$R = a_0 \cdot \prod_{j=1}^n a_j^{\Phi_j}, \quad (3)$$

где R – зависимая переменная или функция отклика, представляющая результат моделируемого процесса; Φ_j – объясняющая (независимая) переменная, представляющая каждый фактор, определяющий условия осуществления процесса; a_0 – постоянная регрессии; a_j – коэффициент регрессии « Φ_j к R ».

Выбор спецификации модели обычно определяется общепринятыми в данной области знаний представлениями о моделируемом процессе – представлениями, основанными на эмпирическом знании.

В рамках данной работы мы полагаем, что:

1) объясняющие переменные представляют управляемые факторы моделируемого процесса – вариативность каждого фактора в таблице исходных данных служит формальным признаком выполнения условия;

2) количество экспериментов (k) достаточно (4) для корректного расчета коэффициентов регрессии;

$$k \geq \begin{cases} 2^n & \text{для линейных моделей,} \\ 3^n & \text{для нелинейных моделей,} \end{cases} \quad (4)$$

где n – количество объясняющих переменных;

3) объясняющие переменные попарно взаимно независимы.

Электронная книга состоит из нескольких обязательных рабочих листов (табл. 1). Исходные данные, используемые для построения моделей, заносятся в одну таблицу на листе «Исходные данные».

На всех остальных листах исходные величины отображаются ссылками. Такая структура

позволяет достаточно быстро выполнять расчет для построения новой модели – требуется толь-

ко скопировать рабочую книгу и изменить содержимое листа «Исходные данные».

Таблица 1

Листы рабочей книги

Рабочий лист	Содержание
1) «Исходные данные»	содержит только таблицу исходных данных – т. наз. «план экспериментов» из k строк и n столбцов;
2) «Корреляция»	расчетная таблица (табл. 2) для определения коэффициентов парной корреляции (5)
3) «Сравнение моделей»	таблица результатов моделирования (табл. 3)
4) «Линейная модель»	расчетные таблицы для определения параметров и оценки достоверности соответствующей модели. Эти три таблицы имеют одинаковую структуру и различаются только правилами прямого (6, 7, 8) и обратного нормирования.
5) «Степенная модель»	
6) «Показательная модель»	

Для проверки попарной взаимной независимости объясняющих переменных и одновременно для предварительной оценки существования взаимосвязи целевой функции с отдельными факторами рассчитываются (5) коэффициенты линейной корреляции (коэффициенты Пирсона).

$$r_{ij} = \frac{\overline{\Phi_i \cdot \Phi_j} - \overline{\Phi_i} \cdot \overline{\Phi_j}}{\sigma_{\Phi_i} \cdot \sigma_{\Phi_j}}; \quad r_j = \frac{\overline{R \cdot \Phi_j} - \overline{R} \cdot \overline{\Phi_j}}{\sigma_R \cdot \sigma_{\Phi_j}}; \quad (5)$$

где r_{ij} – коэффициент парной корреляции, отражающий взаимную зависимость объясняющих переменных Φ_i и Φ_j . Как правило, большое абсолютное значение $|r_{ij}| > 0,5$ показывает существование зависимости, что означает формальное невыполнение одного из условий Гаусса–Маркова и, соответственно, некорректность регрессионной модели. Вместе с тем, малое ($|r_{ij}| < 0,5$) абсолютное значение еще не означает взаимную независимость факторов, поскольку коэффициент Пирсона отражает существование только линейной зависимости – окончательное обоснование возможности построения модели остается за исследователем; r_j – коэффициент парной корреляции, отражающий существование линейной зависимости между объясняющей переменной Φ_j и функцией отклика R .

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции

Φ_2	Φ_3	Φ_4	R	
–0,1890	0,0305	0,0716	–0,4557	Φ_1
	–0,0073	–0,0352	0,5307	Φ_2
		0,0160	0,3417	Φ_3
			–0,6653	Φ_4

Приведенные выше рассуждения относительно величины r_{ij} справедливы также и для коэффициента r_j . Анализируя данные табл. 2, можно говорить о формальном подтверждении взаимной независимости объясняющих переменных. Также нельзя однозначно отрицать существование зависимостей $R(\Phi_1)$ и $R(\Phi_3)$ на основании малых значений ($|r_1| < 0,5$ $|r_2| < 0,5$) коэффициентов Пирсона.

Таким образом, рабочий лист «Корреляция» дает исследователю сведения, позволяющие формально оценить корректность моделирования. Эти сведения носят только информативный, но не доказательный характер.

На рабочих листах №№ 4.6 (табл. 1) сформированы расчетные таблицы для определения параметров регрессионных моделей основных рассматриваемых (1)–(3) спецификаций. Основные различия в расчетных зависимостях определяются в соответствии с правилами нормирования исходных данных (6)–(8). Нормирование является средством [3, 4] формального выполнения условий Гаусса–Маркова, что, с одной стороны, обеспечивает корректность регрессионного моделирования и, с другой, позволяет получать инструментарий для анализа степени влияния условий проведения процесса на его результат.

При построении линейных (1) моделей исходные значения переменных приводятся к единому диапазону нормированных величин посредством преобразования (6). Для расчета коэффициентов регрессии используются нормированные значения исходных данных, безразмерные и сопоставимые по масштабному фактору.

$$Y_i = 2 \cdot \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} - 1; \quad X_{ji} = 2 \cdot \frac{\Phi_{ji} - \Phi_j^{\min}}{\Phi_j^{\max} - \Phi_j^{\min}} - 1. \quad (6)$$

Для построения нелинейных моделей необходимо выполнять нормирование по соответствующим

соотношениям, например (7) для степенной, (2) или (8) для показательной (3) моделей.

$$Y_i = 2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{R_i}{R_{\min}}\right)}{\ln\left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}}\right)} - 1; \quad X_{ji} = 2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{\Phi_{ji}}{\Phi_{ji}^{\min}}\right)}{\ln\left(\frac{\Phi_{ji}^{\max}}{\Phi_{ji}^{\min}}\right)} - 1, \quad (7)$$

$$Y_i = 2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{R_i}{R_{\min}}\right)}{\ln\left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}}\right)} - 1; \quad X_{ji} = 2 \cdot \frac{\Phi_{ji} - \Phi_j^{\min}}{\Phi_j^{\max} - \Phi_j^{\min}} - 1. \quad (8)$$

Поскольку в результате нормирования (6)–(8) выполняется преобразование координатного пространства, то нормированная модель (9) является линейной, независимо от исходной (1)–(3) спецификации.

$$Y_i = A_0 + \sum_{j=1}^n A_j \cdot X_{ij}. \quad (9)$$

Для расчета параметров линейной модели используются штатные средства табличного процессора. Для модели каждого вида рассчитываются следующие параметры:

- два комплекта регрессионных коэффициентов (A_j) нормированной модели – без учета и с учетом статистической значимости соответствующих объясняющих переменных;
- рекомендательное значение уровня значимости факторов, определяемое из условия адек-

ватности модели (проверяется по F -критерию);

– два комплекта показателей погрешности моделирования: относительная погрешность и стандартная ошибка – для моделей, построенных с учетом всех и с учетом только статистически значимых факторов;

– показатель адекватности модели – вероятностная оценка существенности выделенной статистической закономерности – рассчитывается по величине стандартной ошибки модели с помощью F -критерия;

– два комплекта параметров модели (a_j), восстановленной к исходному масштабу и размерностям физических величин.

На рабочем листе «Сравнение моделей» приводится сводная (табл. 3) таблица результатов моделирования.

Таблица 3

Сравнение моделей

Модель	Значимость факторов (норм. регрессия)				Коэффициенты A_j				Досто- верн. %	Отн по- грешн. %
	a_0	a_1	...	a_4	A_0	A_1	...	A_4		
1. Линейная, все факторы	–0,14	0,05		–0,46	0,4	0,00		–1,41	96,00	13,98
2. Степенная, все факторы	0,15	–0,40		–0,30	7,2	–0,35		–0,37	92,30	14,99
3. Показательная, все факторы	0,15	–0,30		–0,53	1,3	1,00		0,30	83,80	17,29

Анализ сравнительных данных позволяет исследователю обоснованно выбрать математическую модель, наиболее подходящую для изучаемого процесса. Например, в нашем случае (табл. 3) наилучшей моделью – с учетом достоверности и относительной погрешности – следует считать линейную зависимость, описывающую процесс с достоверностью 96 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стой-

ких сталей / А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев // Металлообработка. – 2012. – № 1. – С. 11–15.

2. Чигиринская, Н. В. Математическое моделирование экономических процессов средствами информационных технологий / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский // Педагогические науки. – 2006. – № 6. – С. 176–183.

3. Чигиринский, Ю. Л. Особенности применения табличного процессора для построения многофакторных регрессионных моделей / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : матер. XI Междунар. науч.-техн. конф., 19–21 марта 2014 г. – Курск : ЮЗГУ.

4. Чигиринский, Ю. Л. Стохастическое моделирование в машиностроении: учеб. пособие / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская, Ю. М. Быков ; ВолгГТУ. – Волгоград : РПК «Политехник», 2002. – 68 с.

УДК 621.923

*А. Б. Переладов, И. П. Камкин***ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОРЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ****Курганский государственный университет**

E-mail: tp@kgsu.ru

В статье описана методика и представлены результаты компьютерного моделирования процесса массового микрорезания абразивными зернами материала заготовки. Полученные данные позволили определить наиболее важные показатели микрорезания материала заготовки – длины активных режущих кромок абразивных зерен, непосредственно контактирующих с поверхностью резания. В результате проведенного регрессионного анализа была получена корреляционная зависимость вышеуказанного показателя с площадью сечений срезаемых стружек. Предложены способы корректировки показателя в зависимости от изменения режимов шлифования и статических характеристик инструмента.

Ключевые слова: шлифование, микрорезание, абразивное зерно, режущая кромка, сечение стружки, статистическое распределение.

The article describes the methods and results of computer simulation of mass microcutting abrasive grains of workpiece material. The obtained data allowed identifying the most important indicators of the microcutting of the workpiece material – active length of the cutting edges of abrasive grains, which are in direct contact with the surface of the cut. In the result of the regression analysis was obtained correlation length of the cutting edge with square cross-sections of cut chips. Suggested ways of adjustment of the indicator, depending on the mode of grinding and static characteristics of the instrument.

Keywords: grinding, microcutting, abrasive grain, cutting edge, section chips, statistical distribution.

В настоящее время при проектировании операций механической обработки с применением лезвийного режущего инструмента в производстве широко используются универсальные расчетные зависимости и средства автоматизированного проектирования, созданные на основе результатов теоретических и практических исследований. Это позволяет в значительной степени повысить качество проектирования, сэкономить временные и кадровые ресурсы предприятия.

Однако выбор оптимальных характеристик абразивного инструмента и определение режимов шлифования на практике обычно осуществляется на основе использования собственного субъективного опыта, справочников, в которых содержатся лишь общие рекомендации по применению инструмента и проектированию ряда стандартных операций. Возможности численного расчета в известных методиках проектирования и технических САПР отсутствуют. Причиной этого является отсутствие на данный момент универсальных зависимостей, полученных на основе адекватных модельных представлений рабочей поверхности инструмента и ее взаимодействия с заготовкой в процессе срезания припуска. Необходимость моделирования процесса шлифования при его изучении обусловлена рядом объективных причин: невозможностью осуществления прямых измерений в зоне контакта инструмента с заготов-

кой, скоротечностью процесса шлифования, его стохастической природой и другими.

Для создания адекватных математических моделей процесса шлифования (ПШ) необходимо иметь статистические данные, характеризующие показатели микровзаимодействия шлифовального круга (ШК) с заготовкой. Такими параметрами микрорезания являются: площадь поперечного сечения, толщина и ширина срезаемых абразивными зернами стружек, которые используются при определении единичных сил резания зернами материала обрабатываемой заготовки.

Большинство известных расчетных зависимостей были получены на основе анализа результатов проведенных физических экспериментов, исследований разработанных теоретических детерминированных моделей, которые содержат в качестве переменных лишь средние значения вышеуказанных параметров [1–4]. Такие модели являются достаточно упрощенными, удобными для осуществления расчетов, но не всегда адекватно описывают процесс шлифования, который, как известно, носит стохастический характер, обусловленный случайным расположением абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента. Участие зерен в снятии припуска различно и зависит, в том числе, от степени их перекрытия друг другом в процессе резания, формы вершин зерен, режимов шлифования. Недостатки, присущие детерми-

нированными моделям, и трудности статистического описания процесса шлифования приводят к достаточно большому разбросу получаемых исследователями результатов, что обуславливает необходимость разработки, совершенствования и использования на практике статистико-вероятностных моделей РП инструмента и его взаимодействия с заготовкой.

К аналогичному выводу пришли многие известные исследователи, занимавшиеся изучением проблем в области шлифования [1, 5, 6]. Однако реализация вероятностного подхода и дальнейшее совершенствование модельных представлений в значительной степени сдерживаются отсутствием достоверной статистической информации о параметрах микрорезания зернами материала заготовки в процессе работы инструмента, полученной с учетом строения рабочего слоя ШК.

С целью определения и уточнения статистик геометрических параметров микрорезания активными абразивными зернами припуска заготовки, их корреляции были проведены экспериментальные исследования с использованием ранее разработанной вероятностной компьютерной модели РП инструмента и модели ее кинематического взаимодействия с поверхностью резания заготовки [7, 8]. В качестве среды моделирования использовалась 3D САПР T-Flex CAD 12.

Моделью вершин абразивных зерен являлся конус с углом при вершине равным 160° [8]. Задание координат положения вершин зерен в модели РП осуществлялось с использованием генератора случайных чисел с учетом законов их распределения по поверхности (равномерный) и глубине (пропорционально степени 2,15) [9] рабочего слоя инструмента. С учетом необходимого объема статистических данных и заданной плотности вершин зерен назначалась площадь (длина и ширина) модели. Результатом работы моделирующей программы являлась визуализация на экране ПЭВМ развертки РП условно бесконечной длины с расположенными на ней вершинами зерен.

При разработке модели РП ШК использовались статистические данные, полученные при проведении физического эксперимента, в ходе которого осуществлялось шлифование движущейся стальной ленты инструментом из электрокорунда на керамической связке [9]. По длине и числу царапин, оставленных вершинами зерен на поверхности ленты, были определены глубина и плотность их расположения.

Разработанная на основе созданной статической модели РП кинематическая компьютерная модель взаимодействия вершин активных абразивных зерен РП ШК с заготовкой [7–9], осуществляющих микрорезание объема удаляемого припуска, позволила визуализировать на экране компьютера массив всех вершин активных абразивных зерен с учетом их перекрытия, впереди стоящими зернами в момент наибольшей глубины резания на выходе (входе) из заготовки (в заготовку), в зависимости от направления вращения ШК.

С целью демонстрации работы моделирующей программы ниже приведены результаты моделирования ПШ. Заданные параметры компьютерной модели: глубина шлифования $t = 0,01$ мм; скорость шлифования $V_{кр} = 39,27$ м/с; $S_{пр} = 0,03$ м/с; $D_{кр} = 300$ мм; зернистость шлифматериала – F36; номер структуры инструмента – 6. Общее число моделей зерен, используемых в модели, – 3000 шт. Число видимых вершин зерен с учетом перекрытия – 1781 шт.

Полученные экранные изображения проекций вершин зерен с учетом их перекрытия позволяют наглядно увидеть механизм формирования формы сечений срезаемых стружек зернами. Например, хорошо видно, что зерно I (рис. 1, *a*) режет материал заготовки профилем площадью S_1 , ограниченной его режущими кромками и поверхностью шлифуемого материала, образованной режущими кромками зерен, стоящими впереди зерна I и уже осуществившими резание. Соотношение величин S и L у зерен непостоянно и имеет большой разброс. Например, площади профилей видимых вершин зерен S_1 и S_2 (рис. 1) практически равны, но имеют длины режущих кромок, отличающиеся в два раза, что соответствующим образом отражается на величине соотношения S/L , которая отличается в данном случае примерно в два раза. Как известно из теории шлифования, степень влияния каждого из этих параметров (S и L) на силу резания различна, что должно учитываться в расчетных моделях.

Написанная программа регистрации и обработки визуализированной графической информации позволила определить площади срезов и соответствующие им длины профилей режущих кромок каждого видимого зерна. Для исключения погрешностей, связанных с краевым дефектом, заключающемся в увеличении площади срезов неперекрываемых зерен, вперёдистоящие зерна и расположенные по бокам вершины

зерен программой при обработке данных не учитывались. Результатом работы программы после обработки экранных изображений являлся

набор данных (S, L) по всем видимым зернам, который использовался в дальнейшем для анализа, построения графиков и гистограмм.

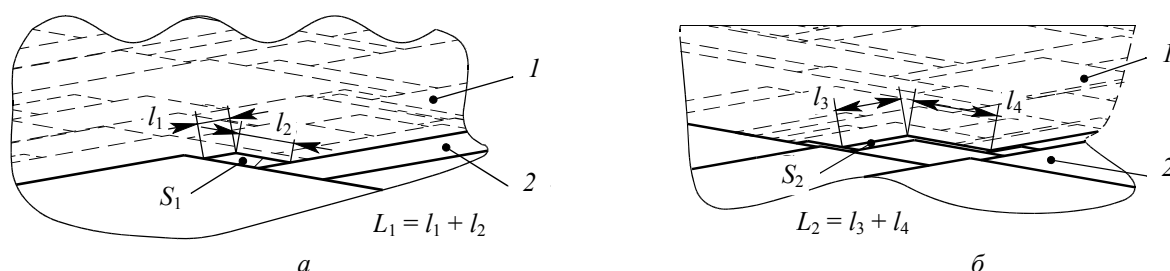


Рис. 1. Примеры изображений видимых профилей вершин активных режущих зерен с обозначением определяемых параметров:

1 – активные зерна, еще не совершившие резания; 2 – впередистоящие активные зерна, совершившие резание; $L_1 = 0,5 \cdot L_2$; $S_1 = 0,99 \cdot S_2$

На графике (рис. 2) точками изображено распределение всех видимых зерен, имеющих

конкретные значения L и S в соответствующей системе координат.

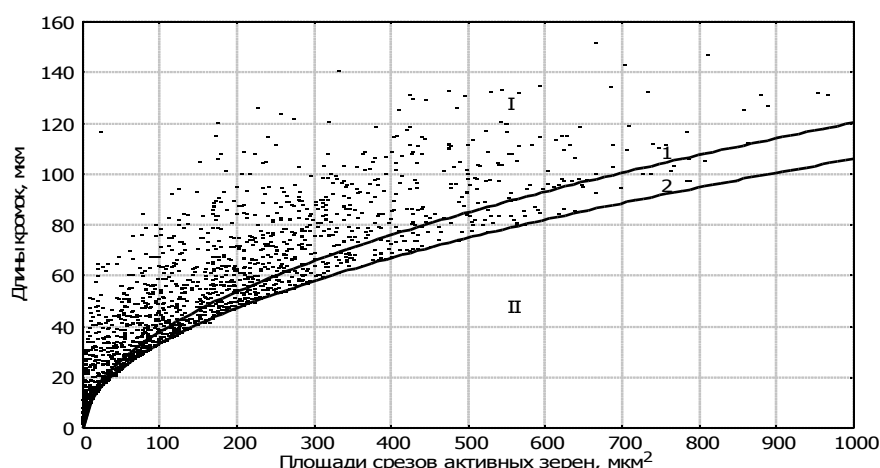


Рис. 2. Массив экспериментальных точек и график корреляционной зависимости параметров L от S :

1 – кривая корреляционной зависимости; 2 – кривая раздела зон I и II; I – зона нахождения значений L ; II – зона ограничения (для срезов с определенной S , длина кромок L не может быть меньше определенного значения)

Корреляция средних значений параметров L и S , как показал проведенный регрессионный анализ, удовлетворительно описывается зависимостью:

$$L = 3,73 \cdot \sqrt{S}.$$

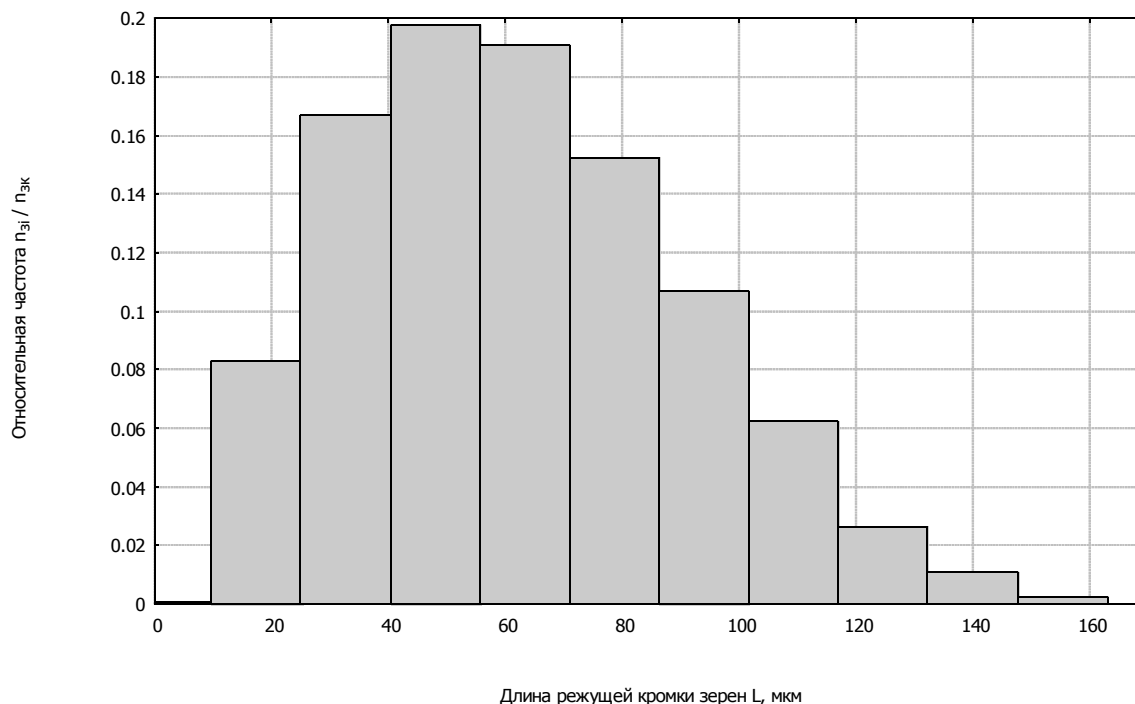
Индекс корреляции для полученной зависимости равен 0,861.

С использованием данных компьютерного моделирования построена гистограмма распределения относительной частоты для параметров L (рис. 3).

Полученная зависимость является действительной для вышеуказанных условий проведения физического эксперимента, осуществленного с использованием результатов компьютерного моделирования РС инструмента и ки-

нематики его взаимодействия с заготовкой при шлифовании. Использование данной зависимости и законов статистического распределения параметров S и L позволит более точно определять значения сил микрорезания абразивными зернами материала шлифуемой заготовки.

В упомянутой зависимости возможно использование масштабных и других коэффициентов, например, при определении L в случае изменении средних значений величин S (при применении ПШ, изготовленных из шлифматериалов других зернистостей, изменении режима шлифования, объемного содержания шлифматериала в инструменте [7], степени твердости инструмента [3] и т. д.). В этом случае для конкретных условий ПШ определяются средние значения параметра S , а затем значения L .

Рис. 3. Гистограмма распределения параметра L

Выводы

Таким образом, в ходе проведенных исследований, была получена новая статистическая информация о распределении важного показателя микрорезания абразивными зернами припуска заготовки – длин режущих кромок активных зерен и связи данного показателя с площадью сечений срезов. Результаты исследований могут быть использованы в известных методиках для расчетов выходных показателей ПШ. Имея данные о геометрии сечений срезаемых стружек, определенные с учетом имеющегося микропрофиля шлифуемой поверхности и неоднородности распределения объема удаляемого припуска между активными зернами, находящимися в зоне контакта шлифовального круга с заготовкой, и размерах самой зоны, становится возможным создание наиболее адекватных математических моделей, учитывающих вероятностную природу ПШ [9] для расчета силовых, тепловых и других характеристик процесса абразивной обработки.

Исследования проводятся по контракту, заключенному с федеральным государственным бюджетным учреждением «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслов, Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.

2. Носенко, В. А. Математическая модель рабочей поверхности абразивного инструмента при шлифовании / В. А. Носенко, М. В. Даниленко, Е. В. Шевцова // Машиностроение и техносфера XXI века // Сб. тр. XVII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 13–18 сентября 2010 г. В 4 т. – Донецк: ДонНТУ, 2010. – Т. 2. – С. 233–237.

3. Разработка расчетной методики назначения характеристики шлифовального круга по тепловому ограничению для автоматизированного проектирования операции шлифования : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Фадюшин О. С. – Челябинск, 1992. – 21 с.

4. Пекленик, Ж. Применение корреляционной теории к процессу шлифования / Ж. Пекленик // Труды американского общества инженеров механиков. Конструирование и технология машиностроения. – М., 1964. – Вып. 2. – С. 3–13.

5. Корчак, С. И. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. И. Корчак. – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.

6. Никифоров, И. П. Компьютерное моделирование процесса внутреннего шлифования / И. П. Никифоров // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2006. – № 1. – С. 107–115.

7. Переладов, А. Б. Расчет сил резания при шлифовании / А. Б. Переладов, И. В. Кожевников // Материаловедение и технология конструкционных материалов – важнейшие составляющие компетенции современного инженера. Проблемы качества технологической подготовки: сб. ст. Всерос. совещания зав. каф. материаловедения и технологии конструкционных материалов / ВолгГАСУ. – Волгоград, 2007. – С. 289–291.

8. Переладов, А. Б. Повышение эффективности операций шлифования путем направленного регулирования параметров рабочего слоя абразивного инструмента: дис. ... канд. техн. наук / Переладов А. Б. – Курган, 1998. – 150 с.

9. Переладов, А. Б. Вероятностная компьютерная модель рабочего слоя шлифовального круга / А. Б. Переладов, И. П. Камкин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 49–52.

УДК 621.9.025

*А. И. Курченко, С. И. Кормилицин, И. А. Стребков***ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА МЕХАНИЗМ ЦИКЛИЧЕСКОГО
СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ И ВИД КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ ТОЧЕНИИ α -ТИТАНОВОГО СПЛАВА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: techmash@vstu.ru

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

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

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

Keywords: cyclic turning, titanium alloy, carbide tools, tool wear, adiabatic shift.

Практика исследования обрабатываемости и характеристик процесса резания титановых сплавов показывает, что увеличить скорость резания выше 40...50 м/мин не представляется экономически целесообразным несмотря на достигнутый прогресс в производстве новых марок режущего инструмента. Изучение причин низкой обрабатываемости указывает на наличие неоднозначных взглядов на эту проблему.

В работе [1] плохая обрабатываемость титановых сплавов объясняется циклическостью процесса резания (колебание сил и температуры резания), обусловленной адиабатичностью процесса сдвига в зоне стружкообразования, наличие высоких температур в контактной зоне из-за низкой теплопроводности титана и высоких температур в контактном пластически деформируемом слое. В других работах [2, 3] низкая обрабатываемость титановых сплавов объясняется циклическостью, обусловленной спецификой физико-механических свойств (склонностью к трещинообразованию, высоким модулем упругости, склонностью к адгезионному схватыванию титанового сплава с карбидом титана в режущем инструменте). Во всех перечисленных и других работах наблюдается слабое обоснование выводов наличием экспериментальных фактов в виде корней стружек. Корни стружек являются прямым доказательством тех или иных процессов, происходящих в зоне стружкообразования и в контактной зоне. Исследования должны охватывать широкий диапазон скоростей резания, только тогда можно понять трансформацию механизмов и процессов в зоне резания с изменением температур и скоростей деформации и сделать надлежащие выводы о потенциальной возможности повышения работоспособности режущего инструмента.

Получение корней стружек происходило при полуставном точении α -титанового сплава ВТ-5 при подаче 0,256 мм/об, глубине резания 1,5 мм, в скоростном диапазоне 4...100 м/мин, время резания 5...10 с.

На рис. 1 представлен корень стружки при скорости резания 4 м/мин. Видно проявление циклическости процесса – на верхней части стружки образуются небольшие зубчики различных размеров. Не видно никаких полос локализованного сдвига в плоскости скольжения зоны стружкообразования, небольшие пластические сдвиги происходят по объему зерен зубчика и в большей степени области наибольших касательных напряжений, но визуальное их проявление зафиксировать травлением сложно. Небольшие зубчики обуславливают небольшое колебание сил резания – 20...25 %. Проявление хрупкого разрушения (микротрещины) по плоскости сдвига формируемого зубчика наглядно не проявляется, но при этих скоростях они должны присутствовать наряду с пластическими сдвигами, микротрещины «залечиваются» от высоких нормальных напряжений.

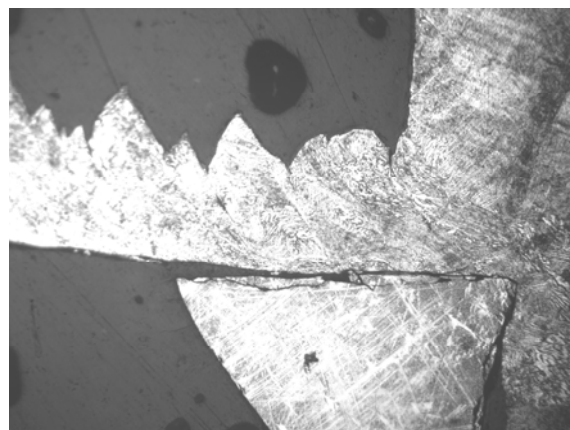


Рис. 1. Зона резания титанового сплава при скорости резания 4 м/мин; х60

Контактное взаимодействие стружки с передней гранью резца осуществляется по механизму внешнего трения (нет проявления пластически деформируемого контактного слоя, видна несплошность контакта). Наблюдается слабое формирование своеобразного нароста, сносимого периодически стружкой. На корне видно упругое восстановление поверхности резания, которое занимает пространство заднего угла режущего клина (из-за большого модуля упругости) и контактирует с задней гранью резца. Этот факт замечается потому, что сохранился острый режущий клин, по сравнению с обработкой конструкционных сталей задний угол справочники рекомендуют делать $12^\circ \dots 15^\circ$, а не $6^\circ \dots 8^\circ$.

На рис. 2 представлен корень стружки, полученный на скорости резания 25 м/мин. Формируются небольшие зубчики, полос локализованного адиабатического сдвига не видно. Корень зафиксирован в момент завершения фазы сжатия для формирующегося нового зубчика, зафиксировано проявление микротрещины в верхней части зубчика.

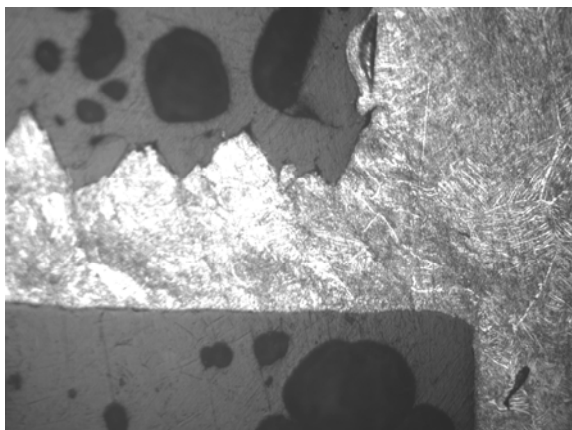


Рис. 2. Зона резания титанового сплава при скорости резания 25 м/мин; $\times 60$

Структура сплава, попадающего в зону резания, относительно однородная, что сказывается на формирующихся зубчиках, не отличающихся размерами.

На контактных прирезцовых слоях стружки не видно формирования пластически деформированного слоя, как и не видно формирование нароста, не наблюдается образования классического пластического контакта, как при резании конструкционных сталей при скоростях выше скоростей наростообразования. Это должно обуславливать проявление внешнего трения по передней поверхности резца. Уровень темпера-

тур недостаточен для проявления полного схватывания прирезцовой поверхности стружки с резцом и для протекания пластической деформации в контактной зоне (из-за высоких значений пределов упругости и текучести титановых сплавов).

На рис. 3 показан корень стружки при скорости резания 45 м/мин. Особенностью этого корня является то, что на короткий момент времени зафиксировано прекращение циклического стружкообразования. Это говорит о том, что характер структуры (гомогенная – негомогенная) влияет на формирование вида стружки. При однородной структуре сплава, поступающего в зону резания и благоприятном расположении главных кристаллографических плоскостей скольжения, в зерне-кристаллите относительно плоскости сдвига зоны резания происходит классическое формирование сливной стружки. Это означает, что низкий коэффициент теплопроводности титановых сплавов не является доминирующим фактом для проявления адиабатического сдвига, являющегося основой формирования циклических стружек [1].

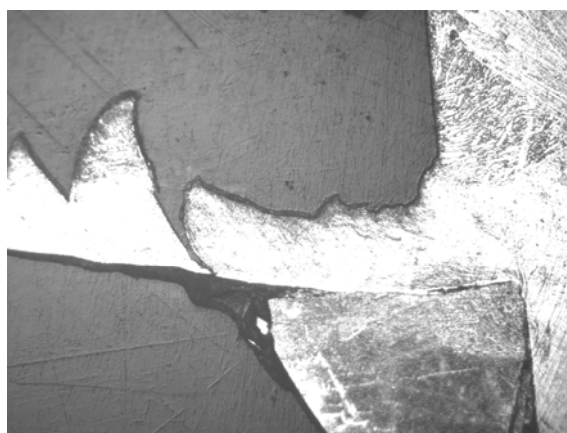


Рис. 3. Зона резания титанового сплава при скорости резания 45 м/мин, увеличение $\times 60$

На рис. 4 также видно влияние однородности структуры на формирование зубчиков, которые практически проявляются в очень слабой степени. На границе между первым и вторым проявлением зубчиков зафиксировано появление хрупкого разрушения в виде микротрещины до половины толщины стружки.

На прирезцовых слоях стружки не наблюдается формирования пластифицированного контактного слоя, реализуется внешнее трение по всему участку контакта на передней поверхности.

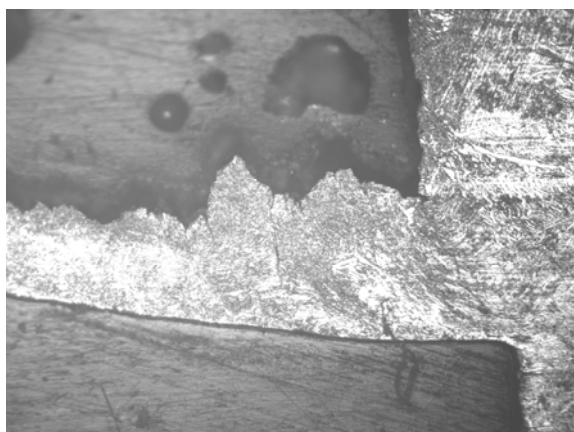


Рис. 4. Зона резания титанового сплава при скорости резания 35 м/мин; х60

На рис. 5 можно наблюдать зафиксированную микротрещину на первом зубчике. Контактного текущего пластифицированного слоя не обнаруживается, реализуется внешнее трение.

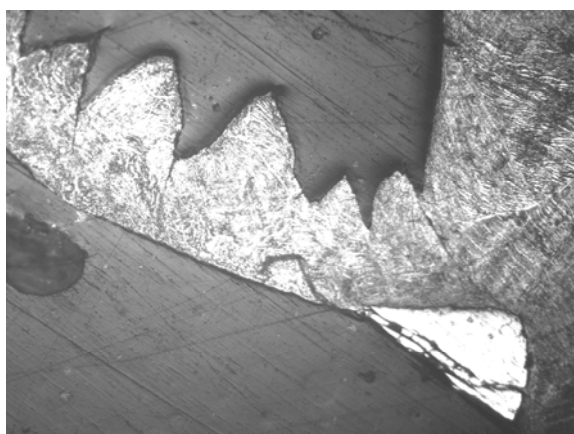


Рис. 5. Зона резания титанового сплава при скорости резания 50 м/мин; х60

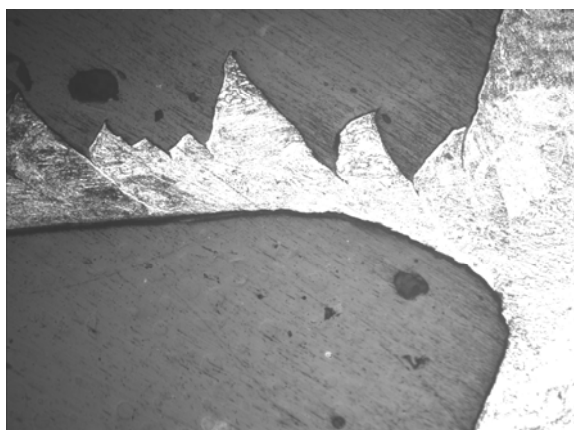


Рис. 6. Зона резания титанового сплава при скорости резания 70 м/мин; х60

На рис. 6 получен корень стружки при скорости резания 70 м/мин. Видно проявление по-

лос локализованного адиабатического сдвига в зоне стружкообразования. Зубчики относительно однородны по величине, возможно, из-за гомогенности структуры сплава, попадающей в данный момент в зону резания.

В контактной зоне фиксируется появление пластифицированного контактного слоя, в котором реализуется пластическое течение. При данных температурно-скоростных условиях формируется классическая схема контактного взаимодействия с участком пластического контакта и с участком внешнего трения. За короткое время равное семи секундам сформировалась фаска износа по задней грани резца $h_3 = 0,13$ мм, что говорит об очень интенсивных процессах изнашивания инструмента. Практика и исследования показывают, что при полустовых режимах не рекомендуются скорости выше 60 м/мин.

Из анализа спектра представленных корней стружек видно, что классическая схема контактного взаимодействия с пластическим контактом при точении титановых сплавов начинает формироваться при скоростях более 55...60 м/мин, что соответствует справочным данным по рекомендации режимов резания. Ниже этих скоростей формируется схема контактного взаимодействия стружки с резцом по механизму внешнего трения, для которого в условиях колебания сил и температур лучше подходит прочный к циклическому нагружению твердый сплав типа ВК. Механизм циклического стружкообразования неоднозначный, гибридный.

При низких и средних скоростях наблюдается проявление как хрупкого разрушения титанового сплава при формировании зубчиков стружки, так и проявление накопления пластической деформации по объему зуба, фиксируемое в неоднородности ее протекания в зоне резания.

При относительно высоких скоростях (более 50...55 м/мин) наблюдается проявление и доминирование адиабатического локализованного сдвига по поверхности (плоскости) действия максимальных касательных напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.
2. Петруха, П. Г. Резание труднообрабатываемых материалов / П. Г. Петруха. – М. : Машиностроение, 1972. – 176 с.
3. Кривоухов В. А. Обработка резанием титановых сплавов / В. А. Кривоухов, А. Д. Чубаров. – М. : Машиностроение, 1970. – 180 с.

УДК 621.91

В. А. Солодков

СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ И КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ВЫХОДЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru

Статья посвящена исследованию стружкообразования и контактного взаимодействия при прерывистом резании.

Ключевые слова: стружкообразование, контактное взаимодействие, прерывистое резание.

This work is devoted to researching shavingformation and contact interaction for want of discontinuous cutting.

Keywords: shavingformation, contact interaction, discontinuous cutting.

Контактное взаимодействие в момент выхода удобнее изучать не на корнях стружек, а с помощью микрошлифов контактной зоны на концах стружек. Значение контактного взаимодействия в конце рабочего хода (в момент выхода режущего зуба из обрабатываемой заготовки) подтверждается результатами многочисленных исследований, показывающих большое влияние на стойкость фрезы ее положения относительно заготовки и прежде всего условий выхода. В большинстве исследований, посвященных причинам повышенного износа при прерывистом резании, в качестве основной причины называются микросколы режущей кромки. При этом наибольшую интенсивность

этот процесс имеет при выходе режущего зуба из обрабатываемого материала.

Одним из способов уменьшения микросколов режущей кромки является установка на выходе из заготовки пластины из хрупкого, не склонного к адгезионному схватыванию материала, например чугуна. Другой способ заключается в смещении фрезы относительно обрабатываемой заготовки (рис. 1). Смещение фрезы фактически означает изменение условий входа и выхода. При определенных условиях контактная зона может сохраняться до конца единичного реза и в момент выхода режущего зуба отрываться от передней поверхности, унося с собой микрообъемы режущей кромки.

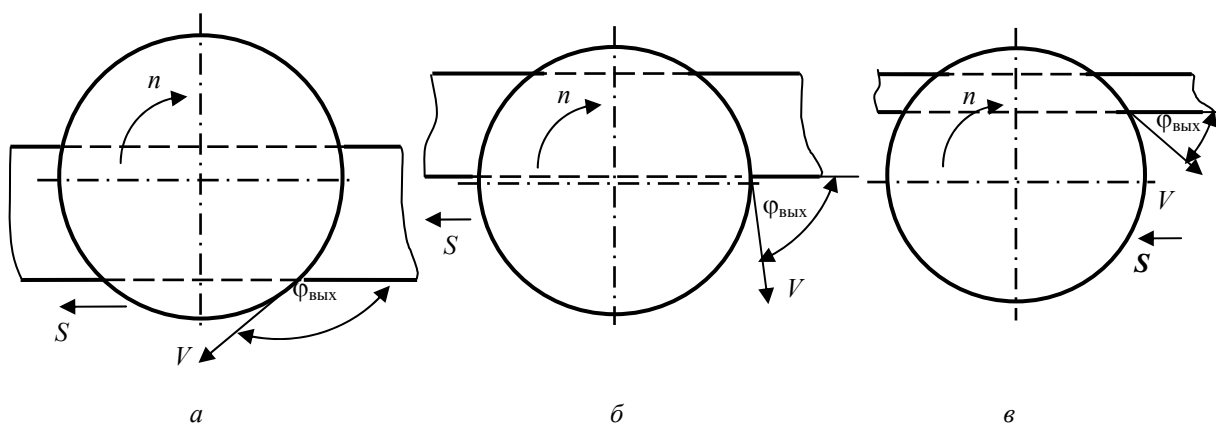


Рис. 1. Схема расположения фрезы и заготовки при разных углах выхода:

а – $\varphi_{\text{вых}} \sim 135^\circ$; б – $\varphi_{\text{вых}} \sim 85^\circ$; в – $\varphi_{\text{вых}} \sim 30^\circ$

Это смещение можно оценить углом $\varphi_{\text{вых}}$ (далее угол выхода) между вектором скорости резания в точке выхода и поверхностью заготовки (рис. 1). В настоящей работе исследовались три значения угла выхода: 30° (из диапазона $25^\circ \dots 60^\circ$), 85° (из диапазона $75^\circ \dots 115^\circ$) и 135° (из диапазона $125^\circ \dots 150^\circ$). Каждому углу выхода (при прочих равных условиях) соответствует своя форма конца стружки (рис. 2).

С помощью плоской модели напряжений Пекельхарингом было показано, что к моменту выхода инструмента плоскость сдвига поворачивается от своего положительного направления к отрицательному, в результате чего максимальные растягивающие напряжения на передней поверхности инструмента быстро увеличиваются и перемещаются к режущей кромке [1]. Ганди и Барроу [2] выкрашивание режущей кромки

при выходе связывают с образованием так называемого «нароста» в условиях отрицательного сдвига. По их мнению, такие явления имеют место при определенных значениях угла выхода, в частности, отрицательный сдвиг начинается при $\varphi_{\text{вых}} \geq 60^\circ$. В общем случае величина этого угла зависит от обрабатываемого и инструментального материалов, а также от режимов резания.

Однако в этих исследованиях нет анализа причин, вызывающих поворот плоскости сдвига до отрицательных значений. Выполненный ранее [3, 4] и дополненный в настоящей работе анализ основывался на том, что положение плоскости сдвига определяется соотношением интегральных сумм касательных напряжений в зоне стружкообразования и в контактной зоне.

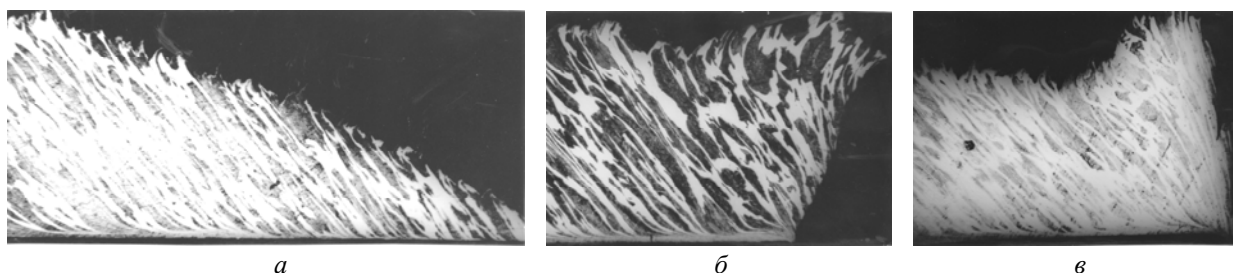


Рис. 2. Форма конца стружки при разных углах выхода:
а – $\varphi_{\text{вых}} \sim 135^\circ$; б – $\varphi_{\text{вых}} \sim 85^\circ$; в – $\varphi_{\text{вых}} \sim 30^\circ$

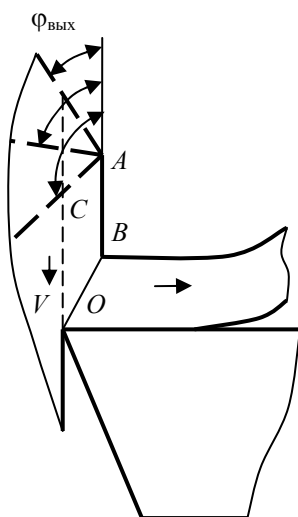


Рис. 3. Геометрия участка выхода

Рассмотрим случай с углом выхода – $\varphi_{\text{вых}} \sim 30^\circ$ (рис. 1, в и 2, в). После выхода плоскости сдвига OB в точку A (рис. 3) при дальнейшем резании площадь плоскости сдвига, а следовательно, и силы, в ней действующие, будут уменьшаться. Сохраняющийся уровень сопротивления движению стружки по передней поверхности вызовет уменьшение угла сдвига, что увеличит площадь плоскости сдвига и усилия в ней. При этом вырастет усадка стружки и резко замедлится ее движение, в результате чего уменьшится интенсивность тепловыделений в контактной зоне и температура в этой зоне. Охлаждение контактной зоны должно вы-

звать рост сопротивления пластическому деформированию в ней и, как следствие, вновь должен уменьшиться угол сдвига для поддержания соответствующих условий в зоне стружкообразования.

На микрошлифе стружки для этого случая хорошо видно, что усадка стружки (толщина стружки) на ее конце значительно выше, чем на остальной части. При небольшом угле выхода скорость уменьшения угла сдвига сравнительно невелика. Поэтому текущее положительное значение угла сдвига (с учетом постоянно уменьшающейся толщины среза и, как следствие, снижения сил на передней поверхности) практически до самого конца резания обеспечивает соответствие усилий в плоскости сдвига усилиям на передней поверхности. Угол сдвига все время сохраняет положительное значение, и на выходе поверхности резания остается лишь небольшой заусенец.

Важной особенностью данного случая является то, что контактная зона, так называемый «нарост» [2], успевает отчасти выродиться, и в районе режущей кромки в момент окончания резания (отрыва стружки) контактная зона имеет значительно меньшие размеры (рис. 4, в). Тем не менее, пластическое деформирование в контактной зоне в этом случае продолжается до момента окончания резания, на что указывает вид прирезцовой поверхности стружки со следами заточки твердосплавной пластины (рис. 5, в).

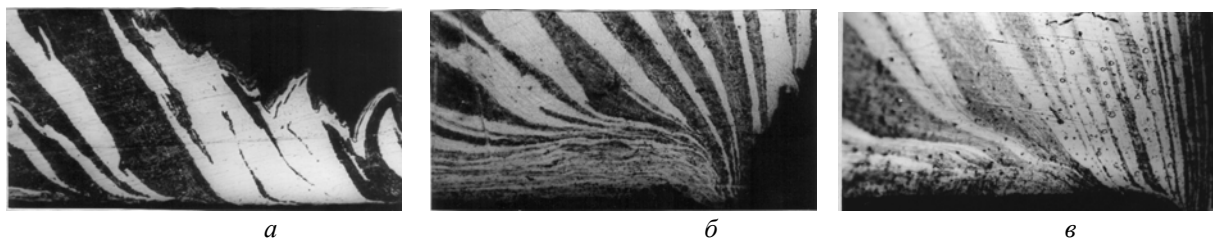


Рис. 4. Фрагмент конца стружки с видом контактной зоны (x500) для углов выхода 135° (а), 85° (б) и 30° (в); сталь 45 – ТТ20К9, $V = 90$ м/мин, $S = 0,34$ мм/зуб

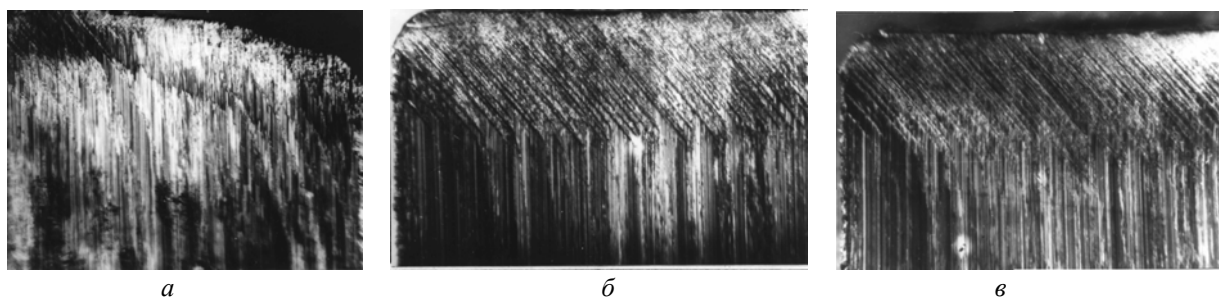


Рис. 5. Прирезцовые поверхности концов стружек для углов выхода 135° (а), 85° (б) и 30° (в); сталь 45 – ТТ20К9, $V = 90$ м/мин, $S = 0,34$ мм/зуб

Рассмотрим случай с углом выхода 85° (рис. 1, б и 2, б). Аналогично вышеописанному, после выхода плоскости сдвига в точку А (рис. 3) будет иметь место поворот плоскости сдвига. Однако скорость этого поворота, скорость уменьшения угла сдвига будет гораздо выше, так как площадь плоскости сдвига при этом будет увеличиваться в значительно меньшей степени, чем в предыдущем случае. В результате чего стружка на передней поверхности практически остановится, а плоскость сдвига для того, чтобы усилия в ней соответствовали усилиям на передней поверхности (которые практически не уменьшились), повернется до отрицательных значений угла сдвига. При этом плоскость сдвига восстановит свою площадь, но резание в таких условиях невозможно, и инструмент отрывает стружку от плоскости сдвига от заготовки. Действительно в этом случае на поверхности резания на участке выхода заметен вырыв. Главной особенностью данного случая является то, что контактная зона как бы замораживается вблизи режущей кромки (рис. 4, б), и в момент отрыва стружки от заготовки и от инструмента возможно выкрашивание режущей кромки. Вид прирезцовой поверхности стружки на рис. 2, б со следами заточки твердосплавной пластины подтверждает факт протекания контактных пластических деформаций при угле выхода 85° до самого конца реза.

Рассмотрим случай с углом выхода 135° (рис. 1, а и 2, а). Согласно [2], и этом случае должен иметь место отрицательный сдвиг. Однако анализ (рис. 4, а) показывает, что это не так. Действительно после выхода плоскости сдвига в точку А (рис. 3) любое уменьшение угла сдвига вызовет резкое уменьшение сопротивления стружкообразованию. Поэтому очевидно (рис. 2, а), что угол сдвига продолжает оставаться положительным до конца образования стружки. Образованию специфического вида конца стружки для данного случая способствует следующее. После выхода плоскости сдвига в точку А (рис. 3) или даже несколько ранее вследствие определенной конфигурации участка выхода происходит выдавливание режущим лезвием объема срезаемого слоя (четырехугольник *ОВАС*). Усилия, возникающие при этом, в какой-то степени компенсируют падение усилий в зоне стружкообразования. Следствием подобного выдавливания является постоянно уменьшающаяся толщина срезаемого слоя, что влечет за собой плавное уменьшение толщины стружки (рис. 2, а). При этом, очевидно, происходит постепенная разгрузка режущего клина, а также снижение его температуры. Главная особенность данного случая состоит в том, что в ходе уменьшения толщины стружки практически полностью исчезает пластическое деформирование в контактной зоне

и контактное взаимодействие, очевидно, происходит по механизму внешнего трения. Об этом говорит и вид отсутствия контактной зоны (рис. 4, *a*) и вид прирезцовой поверхности конца стружки, на котором отсутствуют следы заточки твердосплавной пластины (рис. 5, *a*). Характерной особенностью процесса резания при данных условиях выхода является образование значительного заусенца, который представляет собой часть срезаемого слоя.

Сравнительный анализ этих трех основных вариантов выхода инструмента позволяет предположить следующее. Оптимальными, с точки зрения минимума износа, являются такие условия выхода, когда происходит полное исчезновение зоны контактных пластических деформаций и образование значительного заусенца. Для описанных выше условий резания таким вариантом является выход с углом 135° . Для угла выхода 85° условия резания наиболее неблаго-

приятны. Помимо отрыва контактной зоны с вероятностью скола, режущей кромки, в этом случае имеет место резкая разгрузка режущего клина при отрыве стружки от заготовки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пекельхаринг, А. Условия выхода инструмента из зоны резания / А. Пекельхаринг. – СИРП, 1978. – Т. 27, 5–10 с. – Пер. с англ. Л-23971. – М. : ВЦП, 1978.
2. Ганди, А. Разрушение инструмента при прерывистом резании на выходе из зоны резания / А. Ганди, Г. Барроу. – СИРП, 1985. – Т. 34, 71–74 с. – Пер. с англ. Л-43188. – М. : ВЦП, 1985.
3. Солодков, В. А. Влияние прерывистости процесса резания на его основные характеристики / В. А. Солодков // Станки и инструменты (СТИН). – 2006. – № 9. – С. 23–25.
4. Солодков, В. А. Особенности стружкообразования и пластического деформирования при прерывистом резании / В. А. Солодков, В. В. Жуков // Сб. тр. II Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы машиностроения», г. Самара, 2010.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК658.512

А. Г. Алехин, Д. С. Стекачев, Е. М. Бондарев

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРОДУКЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Проанализированы основные методы проектирования технологического процесса. Был исследован технологический процесс изготовления корпусных деталей и предложена структура автоматизированной системы проектирования технологического маршрута. Создана производственная модель изготовления корпусных деталей при помощи языка программирования CLIPS. Составлены правила выбора возможных технологических операций в зависимости от требований по шероховатости и точности обработки. Разработаны правила загрузки и выгрузки деталей со станков во время работы. Был получен оптимальный порядок операций, согласно заданным требованиям.

Ключевые слова: технологический процесс, корпусная деталь, производственная модель, экспертная система, порядок операций.

The main methods of designing technological process were analyzed. Although it was researched a process of manufacturing of basic details and was offered a structure of the Computer-Aided Design of technological route designing. A production model of basic parts manufacturing was created with the help of program language CLIPS. Rules for the selection of possible technological operations were drawn up depending on the requirements of roughness and processing accuracy. Rules of loading and uploading of details were developed from machines during operation. According to the specified requirements, an optimal order of operations was obtained.

Keywords: technological process, basic part, production model, expert system, order of operations.

В настоящее время в промышленном производстве используются несколько различных методов автоматизированного проектирования технологического процесса, которые отличаются друг от друга в зависимости от вида производства, характера решаемых задач, условий применения. В результате анализа этих факторов можно выделить следующие методы проектирования технологического процесса: параметрический, проектирование на основе типизации, группового и индивидуального ТП, функционального моделирования.

Сущность параметрического метода заключается в разделении функций между ЭВМ и человеком. Технологическое проектирование в этом случае состоит из двух этапов. Первый этап – проектирование ТП без участия машин. На этом этапе вручную решаются трудно формализуемые творческие по характеру задачи. Второй этап – автоматизированное проектиро-

вание параметров ТП и отдельных операций [1]. Этот метод низкого уровня автоматизации, который в данный момент заменяется более современными.

Проектирование на основе типизации (метод типовых ТП) осуществляется на основе сформировавшегося производственного опыта и заключается в создании унифицированного ТП на комплексную деталь. Комплексная деталь – это абстрактная деталь, включающая все поверхности деталей, входящих в группу подобных деталей [2]. Правила обработки отдельных элементарных поверхностей и правила назначения очередности обработки этих поверхностей составляют основу типизации. Далее для формирования индивидуального ТП необходимо организовать вторую процедуру – анализ и доработку найденного аналогичного или унифицированного ТП на комплексную деталь в соответствии с чертежом текущей детали.

Метод типовых ТП применяется в крупносерийном и массовом производстве, а также при эксплуатации гибких производственных систем.

Метод групповых ТП представляет собой установленную и формализованную взаимосвязь детали и технологического процесса ее обработки [3]. При групповой технологии общим признаком объединения деталей в группы является общность обрабатываемых поверхностей и их сочетаний, т. е. общность оборудования, необходимого для обработки детали или отдельных ее поверхностей. Метод групповых ТП находит применение в мелкосерийном и среднесерийном производстве.

Методы индивидуального проектирования ТП не получили широкого распространения в связи со своей недолговечностью, так как реальные изменения в производстве приводят не только к изменению алгоритмов проектирования, но и к изменению самой стратегии формирования таких алгоритмов [4].

Функциональная модель проектирования ТП представлена на рис. 1. Одним из универсальных методов проектирования ТП является современная технология структурного анализа и проектирования (SADT – Structured Analysis and Design Technique), предложенная Дугласом Т. Россом [5]. Это методология структурного анализа и проектирования, интегрирующая процесс моделирования, управление конфигурацией проекта, использование дополнительных языковых средств и руководство проектом со своим графическим языком.



Рис. 1. Функциональная модель проектирования ТП

Дуги управления описывают правила и факты, влияющие на выполнение функции. Входные дуги содержат трансформируемые объекты.

Набор знаний о технологическом процессе удобно получать при помощи продукционных моделей, которые являются основой для разработки экспертной системы. Продукционная модель обладает доступностью чтения, гибкостью, простотой логического вывода и внесе-

нием изменений, что делает ее привлекательной для практического применения.

Продукционная модель позволяет представить знания в виде правил типа «Если (условие), то (действие)». Под «условием» (антецедентом) понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в базе знаний, а под «действием» (консеквентом) понимаются действия, выполняемые при успешном исходе поиска (они могут быть промежуточными, выступающими далее как условия и терминальными или целевыми, завершающими работу системы).

Продукционная система представляется тройкой:

$$PS = \langle F, P, I \rangle,$$

где F – база данных или база фактов (рабочая память), содержащая текущие данные; P – база знаний (база продукции); I – интерпретатор (решатель), реализующий процесс вывода.

Нами предложена структура автоматизированной системы проектирования технологического маршрута в виде упорядоченной иерархии отдельных технологических операций. В таком виде можно формализовать описание технологических операций, требования к оборудованию, параметрам заготовки, материалам и конечному результату процесса. В свою очередь, каждая технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, изменяющая параметры заготовки.

Из работ [2, 4] следует, что повышение качества поверхности детали, точности формы и размеров должно осуществляться одновременно по всем основным элементам детали. Чтобы достигнуть уровня точности, заданного чертежом детали, необходимо сначала достигнуть одного уровня точности заготовки, затем обработать ее повторно, стремясь к конечному уровню, и так далее.

В качестве объекта моделирования был выбран технологический процесс изготовления корпусных деталей, который состоит из большого количества операций, а также имеет большое количество альтернативных путей технологических маршрутов изготовления. При этом альтернативный вариант технологического процесса, как правило, имеет отличия в технологических операциях по методам получения тех или иных поверхностей.

Представленная в таблице типовая схема обработки заготовок корпусных деталей была создана на основе анализа технологических

регламентов изготовления корпусных деталей и данных машиностроительных предприятий.

Этап типовой схемы характеризуется уровнем точности по его завершении.

Типовая схема обработки корпусных деталей

№	Наименование этапа	Содержание этапа	Квалитет точности IT	Шероховатость поверхности Ra, мкм
1	Заготовительный	Изготовление заготовки и ее начальная обработка.	15–17	12,5–100
2	Предварительный	Черновой этап обработки, на котором происходит удаление напусков и части припусков с основных и вспомогательных баз.	12–15	6,3–50
3	Чистовой	Обработка основных и вспомогательных баз, плоскостей, фасок и канавок для выхода инструмента.	9–12	3,2–12,5
4	Тонкий	Обработка крепежных отверстий, мелких плоских поверхностей, пазов, нарезание резьбы.	7–9	0,4–3,2
5	Отделочный	Финишные операции обработки, в результате которых достигается высокая точность размеров и формы.	5–7	0,01–1,6

Маршрут обработки типовой корпусной детали был представлен нами в виде графа (рис. 2), на котором отражены множества состояний поверх-

ности и методы их достижения. Преобразование поверхности из состояния C_{i-1} в более качественное C_i отражается функцией метода обработки M .

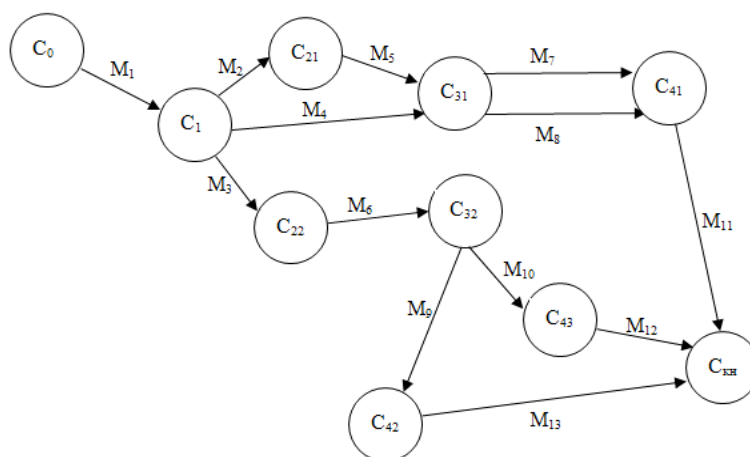


Рис. 2. Граф маршрутов обработки типовой корпусной детали

Нами была реализована производственная модель изготовления корпусных деталей различных типов на языке CLIPS [6]. В программе определяются операции на каждом из этапов обработки в зависимости от требований по шероховатости и точности обработки. Фрагмент программы для ввода требуемых данных на чистовом этапе обработки:

```

(defrule InputOper3
(declare (salience 800))
(initial-fact)
=>
(printout t crlf "Input Stage 3 Ra (3.2-12.5): ")
(bind ?Ra (read))

```

```

(printout t "Input Stage 3 Rz (12.5-50): ")
(bind ?Rz (read))
(printout t "Input Stage 3 IT (9-12): ")
(bind ?IT (read))

```

```

(assert (Stage 3) (Ra ?Ra) (Rz ?Rz) (IT ?IT)))

```

Работа программы выводит возможные операции на каждом из этапов, часть результатов представлена ниже.

Возможные операции четвертого этапа обработки: Termohimichiskoe_uprochnenie_cianirovanie, Narezanie_rezby_metchikom, Termohimichiskoe_up-rochnenie_azotirovanie, Shlifovanie_krugloe_chistovoe, Narezanie_rezby_frezoy, Narezanie_rez-by_rezcom, Polirovanie_obychnoe.

Возможные операции пятого этапа обработки:

Rastachivaniealmaznoe, Shlifovanieploskoe_tonkoe, Shlifovanie_rezby, Himichiskoe_uprochnenie_oxidirovanie.

CLIPS использует продукционную модель представления знаний и поэтому содержит три основных элемента: список фактов, базу знаний, блок вывода [7]. База фактов в нашей программе была представлена шаблонами склада деталей, техмаршрута и машин. С опорой на эти шаблоны были заданы факты состояния склада и машины и инициализации техмаршрута.

В программе можно выделить следующие условия:

- время операций детерминировано;
- в любой момент времени на станке может выполняться только одна операция, относящаяся только к одному виду деталей;
- маршрут изготовления деталей задан;
- каждая операция выполняется на станке без перерыва;
- каждая эвристика включает правило выбора очередной операции и правило ее назначения на определенную машину;
- выбирается операция с наименьшим временем обслуживания на текущей стадии.

Факты, описывающие склад, технологический маршрут и станки:

```
(deftemplate store
  (fielddet (type SYMBOL))
  (fieldoper (type INTEGER))
  (field count (type INTEGER))
  (Пример шаблона для склада деталей )
  Фрагмент программы, содержащий правило разгрузки станков:
```

```
(defrulework_off
  (declare (salience 10000))
  (machinegun (num ?num1) (count ?count1)
    (time ?time1) (oper ?operation) (det ?detail));
  Выбор машины, закончившей работу
  (test (not (eq ?count1 0)))
  (test (eq ?time1 0))
  ?node1 <- (machinegun (num ?num1) (count ?count1) (time ?time1) (oper ?operation) (det ?detail))
  (store (det ?detail) (oper ?operation) (count ?count2)); Выборместадлявыгрузки
  ?node2 <- (store (det ?detail) (oper ?operation) (count ?count2))
```

=>

```
(modify ?node1 (count 0))
(modify ?node2 (count (+ ?count2 ?count1)))
(printout t ?*time* "Выгрузка со станка "
?num1 " " ?count1 " деталей типа " ? detail crlf))
```

Правило выгрузки деталей со станка работает следующим образом: определяется машина, закончившая работу, выбирается место для выгрузки и производится выгрузка партии деталей со станка.

В программе также реализован алгоритм, обеспечивающий движение по времени, благодаря чему отражается ход событий, имитирующий реальное производство деталей на заводе.

Выводы: в результате работы программы был определен оптимальный порядок операций, обеспечивающий минимальное время простоя оборудования.

В программе спроектирован и реализован прототип экспертной системы на базе производства нескольких видов корпусных деталей, что может позволить в дальнейшем реализовать данную систему в реальном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов : учеб. пособие / А. В. Петухов, Д. В. Мельников, В. М. Быстренков. – М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос.техн. ун-т им П. О. Сухого, 2011. – 144 с.
2. Горанский, Г. К. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства / Г. К. Горанский, Э. И. Бендерова. – М. : Машиностроение, 1981. – 456 с.
3. Митрофанов, С. П. Групповая технология машиностроительного производства. – Т. 1 / С. П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, 1983. – 407 с.
4. Капустин, Н. М. Диалоговое проектирование технологических процессов / Н. М. Капустин, В. В. Павлов, Л. Н. Козлов. – М. : Машиностроение, 1983. – 255 с.
5. Марка, Д. А. Методология структурного анализа и проектирования ; пер. с англ / Д. А. Марка, К. Л. МакГоуэн. – М. : 1993. – 240 с.
6. Частиков, А. П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / А. П. Частиков, Д. Л. Белов, Т. А. Гаврилова. – С.-П.: BVH, 2003. – 608 с.
7. Капля, В. И. Экспертная система управлением группой роботов / В. И. Капля, А. Г. Алехин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении» ; вып. 6). – С. 83–84.

УДК 620.165.29

Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов, Ф. Г. Добрынин

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Рассмотрен вопрос автоматизированной поверки датчиков давления. Приведена принципиальная схема устройства для автоматизированной поверки.

Ключевые слова: поверка, датчик давления, калибратор давления, схема поверки датчика.

Automated verification of pressure sensors are considered. Principal schemes for automated verification's device pressure sensors are given.

Keywords: verification, pressure sensor, pressure calibrator, sensor calibration scheme.

Для процесса контроля герметичности газовой аппаратуры [1–3] важную роль играет правильная настройка датчиков давления, используемых при испытаниях. На настоящий момент поверку датчиков давления проводят или без автоматизированных устройств, с помощью обычных аналоговых устройств – амперметра и вольтметра, или с дорогостоящими калибраторами давления, имеющими много дополнительных функций, которые порой не нужны в процессе поверки и цена которых доходит до нескольких тысяч долларов. Поэтому актуальной является следующая задача: разработка устройства для автоматизированной поверки преобразователей давления, которое сочетало бы в себе невысокую стоимость и простоту в использовании, как у аналоговых устройств, и быстродействие и эффективность, как у калибраторов давления. В настоящее время используют три основных метода поверки датчиков давления [4]. Схема поверки с применением эталонного миллиамперметра приведена на рис. 1.

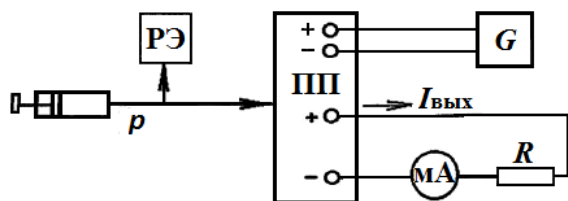


Рис. 1. Схема поверки преобразователя с измерением выходного параметра по миллиамперметру

Давление p , подаваемое от источника давления на вход поверяемого преобразователя ПП, измеряется с помощью рабочего эталона РЭ. Питание преобразователя осуществляется от источника питания G . Выходной параметр $I_{\text{вых}}$ измеряется рабочим эталоном – миллиамперметром МА. Резистор R служит для обеспечения необходимого сопротивления выходной цепи (1200 или 500 Ом). Схема поверки с измерением

выходного параметра по падению напряжения на эталонном резисторе приведена на рис. 2.

Давление p , подаваемое от источника давления на вход поверяемого преобразователя ПП, измеряется с помощью рабочего эталона РЭ. Питание преобразователя осуществляется от источника питания G . При поверке выходной ток поверяемого преобразователя $I_{\text{вых}}$ пропускают через эталонный резистор – катушку сопротивления или магазин сопротивлений.

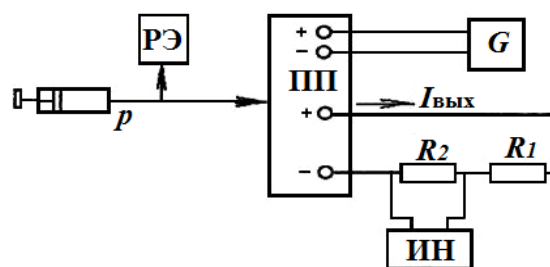


Рис. 2. Схема поверки преобразователя с измерением выходного тока по падению напряжения на эталонном резисторе

Значение выходного тока определяют измерением падения напряжения измерителем на напряжения ИН на эталонном резисторе R_2 . Сопротивление дополнительного резистора $R_1 = R - R_2$, где R – заданное значение сопротивления внешней цепи (1200 или 500 Ом).

Схема поверки с применением эталонного измерительного преобразователя давления приведена на рис. 3.

Заданное давление p от источника давления поступает одновременно на поверяемый преобразователь ПП и эталонный преобразователь ЭП. В качестве ЭП применяют измерительные преобразователи давления ИПД или ИПДЦ. Номинальное значение давления определяют по показаниям измерителя напряжения V_2 . Выходным параметром схемы является разность выходных параметров поверяемого и эталонно-

го преобразователей давления, которую определяют с помощью рабочего эталона V_1 .

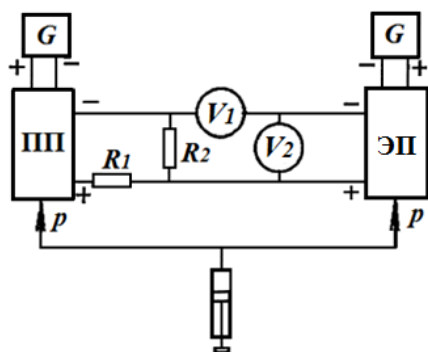


Рис. 3. Схема поверки с применением измерительного преобразователя давления в качестве рабочего эталона

Предложенные выше схемы поверки имеют некоторые недостатки. Для того чтобы произвести поверку, требуется рассчитывать выходной сигнал поверяемого преобразователя, и после сравнения полученных данных расчетным и экспериментальными путями делается вывод о точности измерения датчика давления. Для снижения времени на обработку результатов и повышения точности поверки было разработано устройство, которое состоит из микроконтроллера AVR фирмы Atmel [5], дисплея фирмы

Hitachi, нескольких резисторов и двух светодиодов. Устройство работает следующим образом. Заданное давление от источника давления поступает одновременно на поверяемый преобразователь и эталонный преобразователь. В качестве эталонного преобразователя применяют цифровые измерительные преобразователи давления. Выходным сигналом с датчиков является ток в пределах 0–20 мА. Так как датчик выдает сигнал по току, то необходимо преобразовать этот сигнал в сигнал по напряжению. Для этого на выходе датчика устанавливается резистор. Внутренний АЦП микроконтроллера не может измерить напряжение больше 5 В, поэтому для обеспечения сигнала до 5 В выбираем сопротивление резистора равное 220 Ом. После этого сигналы поступают на входы микроконтроллера. Так как сигналы аналоговые, то требуется их оцифровка, с которой успешно справляется внутренний 10-битный АЦП микроконтроллера. Далее микроконтроллер сравнивает два сигнала и выдает результат о годности датчика в виде загорания одного из двух светодиодов и параллельно выводит результат измерения на дисплей. Схема устройства для поверки датчика давления Метран-55 приведена на рис. 4.

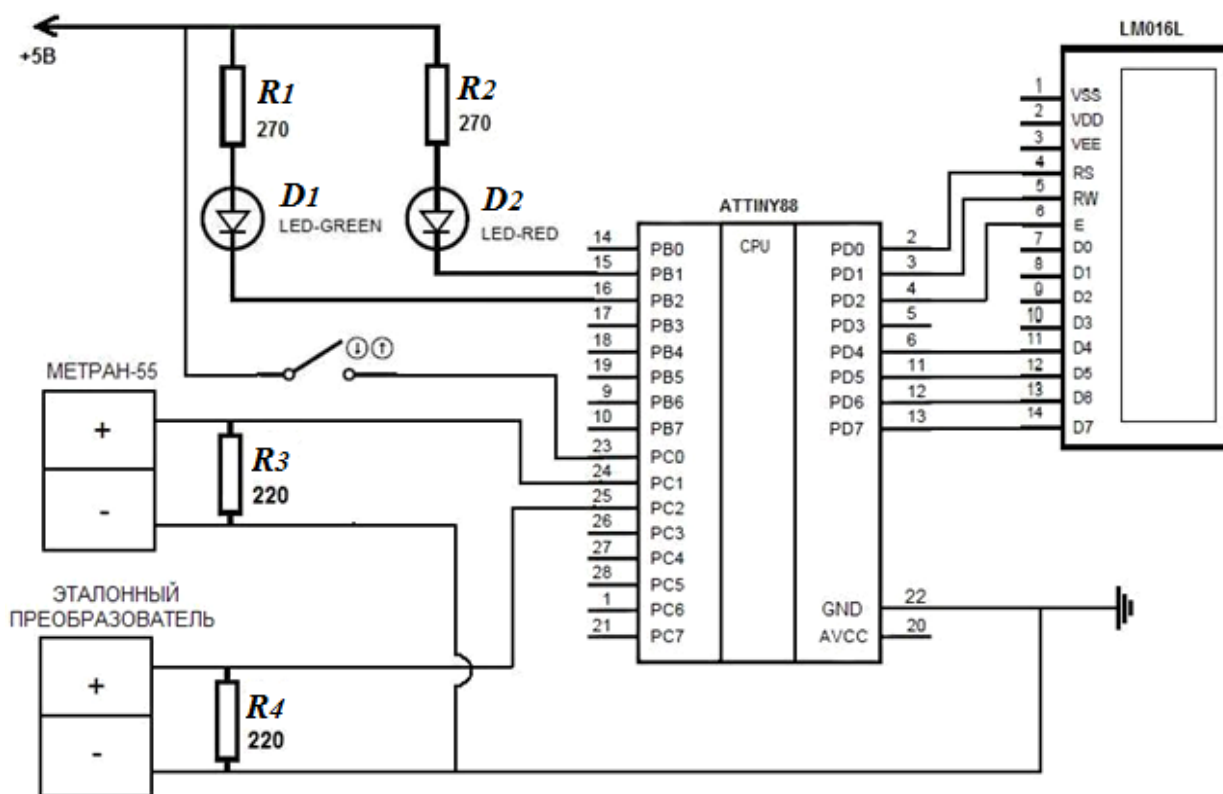


Рис. 4. Принципиальная схема устройства для автоматизированной поверки датчика давления Метран-55

Разработанное устройство освобождает человека от наблюдения за измерительными устройствами, такими как амперметр и вольтметр, что явно упрощает работу метрологов и уменьшает вероятность возникновения ошибок при наблюдении. Его особенностями являются выполнение более точных измерений, чем подобные аналоговые устройства, так как АЦП микроконтроллера позволяет измерять напряжение с погрешностью $\pm 0,0048$ В; компактные размеры за счет использования одного микроконтроллера, арифметического дисплея и нескольких резисторов; легкий процесс перепрограммирования под другие датчики давления. Это особенности позволяют использовать данное устройство в схемах автоматического контроля герметичности [6, 7].

Блок-схема алгоритма программы для сравнения и вывода результата на дисплей приведена на рис. 5.

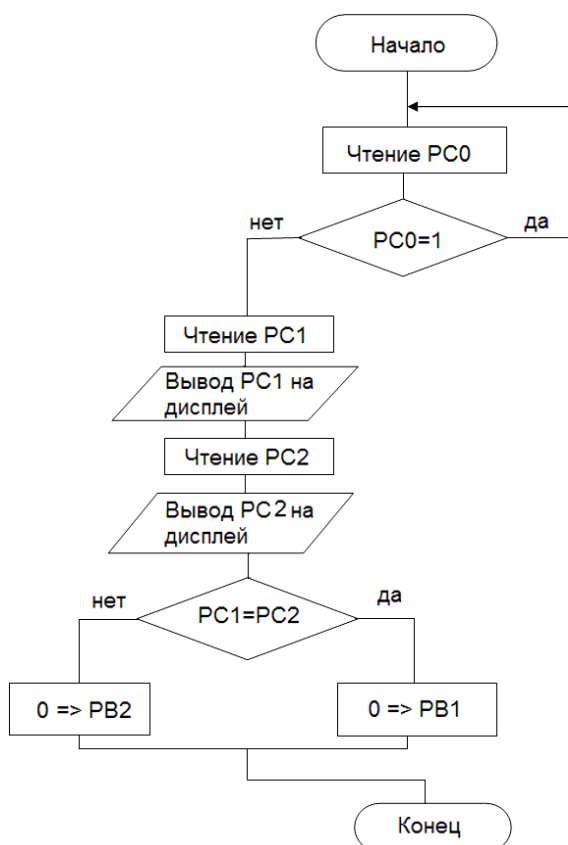


Рис. 5. Блок-схема алгоритма программы устройства для автоматизированной поверки датчиков давления

Вначале проверяется состояние порта PC0, если значение разряда PC0 равно единице, то программа переходит к началу цикла. Если условие не выполняется, то считывается значение порта PC1 и результат выводится на дисплей. То же самое происходит с портом PC2. После

этого происходит сравнение сигнала с портов PC1 и PC2. Если значение сигналов равно, то разряд PB1 сбрасывается в ноль и загорается зеленый светодиод. Если же значение сигналов не равно, то разряд PB2 сбрасывается в ноль и загорается красный светодиод.

Описанное устройство в дальнейшем будет совершенствоваться и дополняться новыми электронными элементами для более точных вычислений, например, планируется использование фильтра Калмана для снижения воздействия шумов на работу устройства. Также его можно использовать для повышения точности испытаний на герметичность газовой аппаратуры [8, 9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барабанов, Г. П. Автоматизация приемосдаточных испытаний на герметичность в производстве газовой аппаратуры / Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 5). – С. 62–65.
2. Барабанов, Г. П. Автоматизация контроля герметичности газовой трубопроводной арматуры / Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов, И. И. Лупшор // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 65–68.
3. Барабанов, Г. П. Рекомендации по созданию автоматизированного оборудования для контроля герметичности газовой аппаратуры на этапе проектирования / Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов, В. А. Бессалов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(100) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8). – С. 100–103.
4. МИ 4212-012-2001. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики (измерительные преобразователи) давления типа «Метран». Методика поверки.
5. Белов, А. В. Разработка устройств на микроконтроллерах AVR / А. В. Белов. – СПб. : Наука и Техника, 2013. – С. 528.
6. Барабанов, В. Г. Исследование чувствительности контроля герметичности по способу сравнения с непрерывной подачей испытательного давления / В. Г. Барабанов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 5 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – (Серия «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»; вып. 3). – С. 51–53.
7. Барабанов, Г. П. Моделирование метода и средств автоматического контроля герметичности газовой запорной арматуры / Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 71–73.
8. Барабанов, В. Г. Производительность автоматизированных стендов для контроля герметичности дискретно-непрерывного действия / В. Г. Барабанов // Автоматизация технологических процессов в машиностроении : межвуз. сборник науч. трудов / ВолгГТУ. – Волгоград, 2002. – С. 47–51.
9. Барабанов, Г. П. Автоматизация контроля герметичности по манометрическому методу способом сравнения с непрерывной подачей давления / Г. П. Барабанов, В. Г. Барабанов, А. К. Иванюк // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 93–96.

УДК 62-529

*И. В. Волков, А. В. Богданова, А. М. Макаров***РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ КУЛЬТУРОЙ КАЛИФОРНИЙСКИХ (КОЛЬЧАТЫХ) ЧЕРВЕЙ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Для решения задачи автоматизации процесса переработки органических отходов культурой кольчатых червей разработана роботизированная система с автономной системой управления на базе микроконтроллера. Использование роботизированной системы при переработке органических отходов позволит значительно повысить рентабельность производства и качество продукции, снизить нагрузку на обслуживающий персонал и обеспечить круглосуточный контроль процесса переработки.

Ключевые слова: роботизированная порталная система, калифорнийский (кольчатый) червь, переработка органических отходов, ферментерное устройство.

A robotized system with an autonomous control system based on microcontroller has been developed for solution of the automation problem of organic waste recycling by culture of tubemakers. Use of robotized system in the processing of organic waste recycling will allow to significantly improve production profitability and product quality, reduce stress on maintenance staff and secure round-the-clock monitoring of recycling process.

Keywords: Robotized portal system, California tubemaker, organic waste recycling, fermenter device.

В течение последнего десятилетия наблюдается тенденция значительного расширения области использования микропроцессорных средств автоматизации. Основной причиной ввода в эксплуатацию микроконтроллеров является перерасчет рентабельности производства ввиду снижения цен на автоматику с одно-временным ростом заработной платы.

Роботизация отдельных производственных кластеров становится все более доступной и имеет ряд преимуществ, связанных с технико-экономическими показателями.

В настоящее время автоматизация широко используется и в сельскохозяйственной сфере, в частности, сфере животноводства и тепличного растениеводства. На данный момент созданы необходимые условия для использования в сельском хозяйстве роботизированных систем. Особенно это актуально при создании новых производственных комплексов.

Одной из сфер применения такого вида решения производственных задач является вермипроизводство – переработка органических отходов культурой кольчатых червей, в том числе и калифорнийских.

В настоящее время для переработки органических отходов применяют различные способы [1–7]. Один из них (рис. 1) осуществляется в закрытой бетонной площадке с системой помостов. Однако данный способ обладает рядом недостатков:

1. При увеличении высоты кормовой зоны значительно сокращается высота рабочей зоны и усложняется подача сырья в зону переработки.

2. Система помостов, позволяющая обеспечить подачу корма в любую точку, значительно затрудняет сбор биогумуса и вермикультуры.

3. Неоправданные затраты рабочего времени персонала при ручном или механизированном способе переработки.

Указанных недостатков можно избежать, если использовать разработанную роботизированную систему на базе ферментерного устройства (рис. 2) [Заявка на полезную модель № 2013151961 от 21. 11. 2013. Ферментерное устройство И. В. Волков, А. М. Макаров, А. В. Богданова, Н. В. Кобзев].



Рис. 1. Переработка органических отходов в закрытой бетонной площадке с системой помостов

Ферментерное устройство представляет собой биореактор 1, стенки которого выполнены из бетона с гидроизоляцией. Устройство подачи воздуха 2 состоит из безмасляного компрессора 3 с ресивером 4, основного электроклапана 5 и блока подготовки воздуха 6. Биореактор содержит зону переработки сырья 7, в нижней

части которой располагается система трубопроводов 8 с распределительными электроклапанами 9 и дозаторами воздуха с компенсированными эмиттерами 10. Портальный робот 11 расположен на рельсах 12, установленных на продольных стенках биореактора, и содержит блок управления 13.

На портальном роботе расположен термодатчик 14, смонтированный на щупе 15, который установлен с возможностью поперечного перемещения по кран-балке 16 и вертикального перемещения с помощью устройства верти-

кальной подачи 17. Устройством подачи воздуха управляет микропроцессорная система управления 18. Термодатчик связан проводом с блоком управления, который связан с микропроцессорной системой управления 18 цифровым беспроводным радиоканалом. Система управления связана линиями управления 19 с компрессором, распределительными электроклапанами, блоком подготовки воздуха и основным электроклапаном. В поперечной стенке биореактора выполнен люк 20 для выгрузки готового продукта.

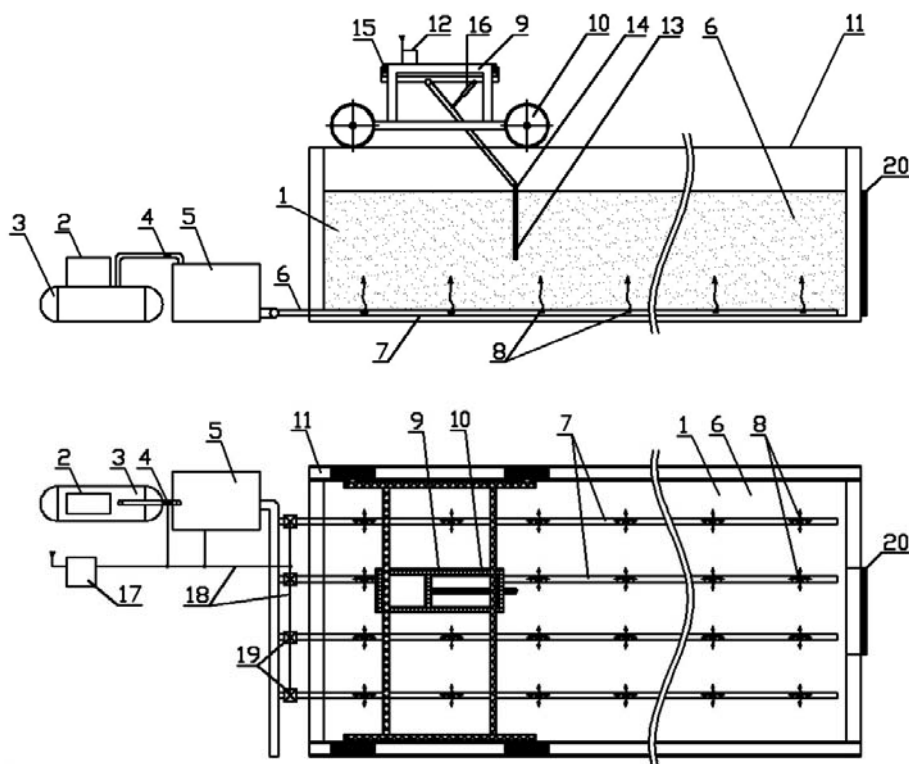


Рис. 2. Ферментерное устройство для переработки органических отходов

Устройство работает следующим образом. После загрузки сырья в зону переработки и ввода требуемых значений температуры и уровня вентиляции в систему управления начинается процесс переработки.

Для поддержания работоспособности ферментерного устройства в зону переработки с определенной периодичностью подается воздух. Периодичность, с которой система воздействует на исполнительные органы, задается оператором. Для подачи воздуха используется компрессор с ресивером, подающий воздух в блок подготовки, где обеспечивается его фильтрация и доводка температуры воздуха до необходимого уровня, а также сбор конденсата при необходимости.

Портальный робот перемещается по рельсам в продольном направлении, при этом термодатчик, установленный на щупе, перемещается в поперечном направлении по кран-балке и опускается или поднимается за счет устройства вертикальной подачи. Таким образом, термодатчик имеет возможность фиксировать температуру по всему объему биогумуса – так происходит сбор сведений о температуре на различных участках зоны переработки сырья. Эта информация передается на блок управления портального робота. После обработки полученные данные передаются далее в систему управления, которая отвечает за работу исполнительных устройств. В результате определяются рациональная температура и объем сжато-

го воздуха, который необходимо подать на каждую линию трубопроводов путем открытия необходимого распределительного электроклапана.

В процессе подачи воздуха в зону переработки сырья производится повторный контроль температуры при помощи термодатчика. Если в какой-то части зоны переработки сырья результат не был достигнут с первой попытки, система управления подает сигнал и цикл повторяется.

После окончания процесса ферментации система управления подает сигнал на выгрузку готового продукта, которая производится через люк.

Использование роботизированной портальной системы обеспечивает снижение трудоемкости процесса переработки органических отходов, обеспечивает возможность мониторинга состояния процесса переработки и снижает риск неравномерности подачи воздуха в зону переработки сырья, тем самым повышается качество и скорость образования биогумуса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терещенко, П. В. Агроэкологические аспекты вермикюльтуры : дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.15 – агроэкология / Терещенко П. В. – Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. – М., 1998. – 219 с.
2. Горбунов, В. В. Дождевые черви для повышения урожая / В. В. Горбунов // Подворье. – М. : Изд-во АСТ, 2013. – 192 с.
3. Кулиш, С. В. Как повысить плодородие почвы с помощью калифорнийских червей / С. В. Кулиш // Приусадебное хозяйство. – М. : Изд-во АСТ, Сталкер, 2007. – 48 с.
4. Автоматизация и роботизация производственных процессов: сб. науч. тр. / Воронеж. гос. техн. ун-т, Междунар. ун-т компьютерн. технологий. – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 1996. – 134 с.
5. Пат. 2244698, МПК C05F3/06, A01K67/033. Устройство и способ компостирования с использованием вермикюльтуры / Ю. М. Лужков; заявитель и патентообладатель Юрий Михайлович Лужков; заявл. 21.01.2004; опубл. 20.01.2005.
6. Пат. 2261850, МПК C05F3/06. Ферментерное устройство / С. К. Васильев, И. В. Мастерских; заявитель и патентообладатель ООО «Промзеленстрой»; заявл. 12.04.2004; опубл. 10.10.2005.
7. Селивановская, С. Ю. Оценка эффективности биотехнологий переработки органических отходов / С. Ю. Селивановская, Н. А. Чижикова, С. А. Ярлыченко, А. А. Савельев // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. Т. 151, кн. 3. – Казань, КГУ, 2009. – 11 с.

УДК 621.757:519

А. Г. Кесоян, Н. Г. Кремлева

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ В СОЕДИНЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Изложен алгоритм комплектования прецизионных соединений, позволяющий управлять распределением числа изделий с приоритетным размером замыкающего звена при прецизионной сборке. Предложено использование материалов исследований для прогнозирования достижимых результатов сборки.

Ключевые слова: прецизионные соединения, приоритетный размер, замыкающее звено, незавершенное производство, точность.

The algorithm of precision joints' gathering has been stated. It allows managing the distribution of products number with priority size of master link at precision assembly. Use of research data has been suggested for prediction of accessible results of assembly.

Keywords: precision joints, priority size, master link, work-in-process, accuracy.

Последовательность отбора деталей в прецизионные пары оказывает существенное влияние на количественные и точностные показатели селективной сборки. В связи с этим комплектowaniu деталей в соединения требуемой точности уделяется особое внимание. В работе [1] рассматриваются алгоритмы отбора деталей как без выделения приоритетности размера замыкающего звена, так и с приоритетным A_{Δ} . Однако случайный характер выбора комплектов, обеспечивая высокую точность, не позволяет достигать максимальной собираемости соединений из партий деталей, поступивших на сборку.

Сложность отбора деталей в соединения при многовариантных схемах комплектования, возникающих при уменьшении группового допуска, требует применения автоматизированных методов расчета сборочных комплектов с различными значениями замыкающего звена A_{Δ} , которые реализуются с использованием ЭВМ. В этом случае комплектование деталей можно рассматривать как решение транспортной задачи линейного программирования с запретами, в которой коэффициенты целевой функции задаются на основе экспертной оценки в зависимости от эксплуатационных требований, предъявляемых к прецизионным соедине-

ниям. Тогда задачу оптимального комплектования прецизионных изделий из партий деталей, поступивших на сборку, можно сформулировать следующим образом: при имеющихся ограничениях на область изменения выходных параметров, заданных количествах деталей в селективных группах и известной приоритетности размера замыкающего звена с учетом условий эксплуатации соединений необходимо получить максимальное количество сборочных единиц, обеспечивая наибольшее число пар с приоритетным $A_{\Delta\pi}$.

Поставленная задача реализуется решением транспортной задачи линейного программирования, формулируемой в следующем виде:

Найти минимум функции

$$\sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{n_1} c_{ij} x_{ij}$$

при условии

$$\sum_{j=1}^{n_1} a_{1j} = \sum_{i=1}^{n_2} a_{2i}$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{n_1} x_{ij} = a_{2i}, \quad i = \overline{1, n_2},$$

$$\sum_{i=1}^{n_2} x_{ij} = a_{1j}, \quad j = \overline{1, n_1}$$

и при граничных условиях

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n_2}, \quad j = \overline{1, n_1},$$

где c_{ij} — коэффициенты целевой функции; n_1 , n_2 — количества размерных групп, на которые сортируются сопрягаемые детали звеньев A_1 и A_2 ; a_{1j} , a_{2i} — число деталей соответственно звена A_1 в j -й группе и звена A_2 в i -й группе.

В производственных условиях равенство

$$\sum_{j=1}^{n_1} a_{1j} = \sum_{i=1}^{n_2} a_{2i}$$

числа деталей в партиях, поступивших на сборку, может не выполняться, что приводит транспортную задачу к дисбалансу. Для решения такой транспортной задачи необходимо ее сбалансировать, введя дополнительно фиктивные размерные группы (n_1+1) и (n_2+1) для деталей соответственно звеньев A_1 и A_2 . Так как до операции комплектования в многовариантных условиях невозможно установить, в каких размерных группах наблюдается излишек или недостаток деталей, то число деталей в фиктивных группах следует назначать с избытком из условия:

$$\text{при} \quad \sum_{j=1}^{n_1} a_{1j} \geq \sum_{i=1}^{n_2} a_{2i}$$

$$a_{1(n_1+1)} = \sum_{j=1}^{n_1} a_{1j}, \quad a_{2(n_2+1)} = 2a_{1(n_1+1)} - \sum_{i=1}^{n_2} a_{2i},$$

$$\text{при} \quad \sum_{j=1}^{n_1} a_{1j} < \sum_{i=1}^{n_2} a_{2i}$$

$$a_{2(n_2+1)} = \sum_{i=1}^{n_2} a_{2i}, \quad a_{1(n_1+1)} = 2a_{2(n_2+1)} - \sum_{j=1}^{n_1} a_{1j}.$$

Однако использование для расчетов сборочных комплектов программы стандартной транспортной задачи линейного программирования требует значительных затрат машинного времени и занимает большой объем памяти ЭВМ.

В этой связи разработан алгоритм комплектования, обеспечивающий максимальную собираемость и наилучшее качество соединений при уменьшении группового допуска и для различных приоритетов A_{Δ} . Алгоритм можно использовать при следующих вариантах приоритетности размера замыкающего звена:

1) приоритет какого-либо размера замыкающего звена отсутствует;

2) максимум узлов с экстремальным, т. е. наименьшим $A_{\Delta\pi}$ или наибольшим $A_{\Delta\delta}$ размером замыкающего звена;

3) максимум соединений со средним $A_{\Delta\pi}$ размером замыкающего звена;

4) максимум соединений с размером замыкающего звена $A_{\Delta\pi} < A_{\Delta\pi} < A_{\Delta\pi}$ или $A_{\Delta\pi} < A_{\Delta\pi} < A_{\Delta\pi}$, отличным от среднего и экстремального ($A_{\Delta\pi}$ — приоритетный размер замыкающего звена).

Алгоритм комплектования содержит четыре этапа. На первом этапе детали сортируются на размерные группы, которые ранжируются в порядке возрастания размеров сопрягаемых поверхностей, начиная с групп, содержащих детали наименьшего размера. Затем определяются наименьший N_m и наибольший N_b номера групп охватываемой детали A (например, отверстия), с которыми охватываемые детали B (валы) предельных номеров групп образуют соединения с допустимым размером замыкающего звена.

На втором этапе определяется величина незавершенного производства по результатам комплектования методом северо-западного угла. Детали B каждой группы последовательно, начиная с групп наименьшего номера, комплектуются с деталями A таких групп, которые обеспечивают требуемый размер замыкающего звена, начиная с наименьшего. Эта операция выполняется вплоть до полного исчерпания деталей B в группе. Остаток деталей A последней

группы, комплектуемой с данной группой деталей B , комплектуется с деталями B следующих номеров групп до полного исчерпания деталей A в группе. Если остающиеся детали A или B какой-либо группы могут образовать соединения только с недопустимым размером замыкающего звена, то они относятся к незавершенному производству. В такой последовательности выполняются операции вплоть до полного укомплектования всей партии деталей. Суммарное количество не скомплектованных деталей A или B определяет величину незавершенного производства в партии.

На третьем этапе комплектование осуществляется с учетом предпочтительного, из всех допустимых значений, размера замыкающего звена в следующей последовательности. Вначале детали B группы с наименьшим номером комплектуются до полного исчерпания с деталями A групп, образуя соединения с наименьшим $A_{\Delta m}$, затем с предпочтительным $A_{\Delta p}$ размером замыкающего звена. Остаток деталей B этой группы комплектуется с деталями A , образуя соединения с размерами замыкающего звена больше минимального, но меньше предпочтительного. Затем остаток деталей B данной группы направляется в незавершенное производство, величина которого не должна превышать объем, определенный на втором этапе. Если оставшиеся после этого в группе детали B нельзя отнести к незавершенному производству, то они комплектуются с деталями A групп, образующими соединения с $A_{\Delta b}$, затем

с размером замыкающего звена больше приоритетного $A_{\Delta p}$, но меньше наибольшего $A_{\Delta b}$. Комплектование деталей B следующих групп производится в такой же последовательности.

На четвертом этапе осуществляется перекомплектование деталей B из части соединений с неприоритетным размером замыкающего звена в соединения с приоритетным и близким к нему за счет незавершенного производства в группах деталей A .

Разработанный алгоритм может быть использован в автоматизированных системах комплектования прецизионных деталей, обеспечивая требуемое распределение точности в партии соединений. Алгоритм имеет достаточно большое быстродействие, занимает малый объем памяти ЭВМ и прост в реализации. Возможность выделять узлы с зазорами, наиболее полно удовлетворяющими эксплуатационным требованиям, приводит к повышению износостойкости, долговечности и надежности работы прецизионных пар.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кесоян, А. Г. Исследование влияния размера замыкающего звена и величины группового допуска на собираемость прецизионных соединений / А. Г. Кесоян, М. В. Кисенкова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 12(72) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 6). – С. 87–88.
2. Кесоян, А. Г. Влияние точности сортировки деталей на эффективность прецизионной сборки / А. Г. Кесоян, С. А. Коцюба // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2012. – № 11. – С. 26–27.

УДК 621.91.02

Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев, А. М. Макаров, Н. В. Козловцева
**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Волгоградский государственный технический университет
E-mail: app@vstu.ru

Для решения задачи рационального комплектования системы инструментального обеспечения станочного оборудования с ЧПУ предложена обобщенная структурно-функциональная модель процесса выбора сборного режущего инструмента на основе теории графов.

Ключевые слова: режущий инструмент, система инструментального обеспечения, функциональное моделирование.

A generalized structural-functional model of the process of selection of precast cutting tool on the basis of the theory of graphs was offered in order to solve the problems of rational acquisition systems instrumentation machine tools with CNC.

Keywords: cutting tool, system tool support, functional modeling.

В автоматизированном производстве инструментальное обеспечение представляет собой единую систему, целью которой является мак-

симально возможное использование инструментальных ресурсов для бесперебойного снабжения инструментами станков, функциониру-

ющих как отдельно, так и в составе ГПС. Конструкции современных режущих инструментов одного функционального назначения различаются структурной компоновкой и геометрическими параметрами режущих, корпусных и крепежных элементов, число вариантов которых может достигать нескольких сотен комбинаций [1]. На малых и средних предприятиях, работающих в условиях многономенклатурного производства, выбор конструкции режущего инструмента часто основывается на рекламных материалах, личном или коллективном производственном опыте. Это обусловлено отсутствием методики, позволяющей на основании формализованных параметров сформировать системное описание номенклатуры режущего инструмента на предприятии и выбрать конкретного ее представителя на основе технических и экономических критериев. Для новых и развивающихся предприятий рационализация количества и номенклатуры режущего инструмента и разработка новых научно-обоснованных методов проектирования структур процессов металлообработки является актуальной задачей. При сохранении основных показателей технологического процесса ее решение обеспечивает, с одной стороны, упрощение организации снабжения инструментом, с другой стороны снижает экономические затраты, которые достигают 10 % от общих затрат на операции механической обработки изделий.

Сложность решения проблемы рационального комплектования системы инструментального обеспечения достаточно высока, так как требует совместного учета ряда конструктивно-технологических, экономических и организационных факторов. В работах [2, 3] рассмотрены некоторые варианты формирования рациональных комплектов технологической оснастки. Отличием предлагаемого авторами [4] подхода является создание информационно-технологической среды (ИТС), обеспечивающей выбор комплекта режущих инструментов для обработки заданных групп поверхностей деталей с использованием комплексных параметров оптимизации. Использование ИТС характерно для современных машиностроительных производств, использующих интегрированную логис-

тическую поддержку выпуска продукции на всех этапах ее жизненного цикла [5].

Выбор режущего инструмента в общем случае определяется множеством F_1 значений факторов

$$F_1 = \{M, V, T, P, S\}, \quad (1)$$

где M – материал обрабатываемой детали; V – вид обрабатываемой поверхности; T – требования к качеству обрабатываемой поверхности; P – производительность обработки; S – стоимость режущего инструмента.

Указанное множество можно разделить на три группы. Первая группа включает значения факторов $\{M, V, T\}$, которые характеризуют параметры геометрического образа детали и определяют *необходимые условия* выбора инструмента. Вторая группа $\{P\}$ описывает технологические условия автоматически выполняемого процесса резания и определяет *достаточные условия* выбора. Третья группа $\{S\}$ дает информацию об экономической составляющей процесса обработки и представляет собой *дополнительные (наложенные) условия* выбора.

Начальным этапом процесса оптимального выбора является разработка двух базовых классификаций, первая из которых характеризует все возможные варианты геометрических образов деталей на данном типе станочного оборудования, а вторая – все возможные варианты конструктивных реализаций режущего инструмента, используемого на предприятии. В соответствии с множеством $\{M, V, T\}$ пример первой классификации приведен на рис. 1, пример второй классификации – на рис. 2.

Режущая пластина сборного инструмента с механическим креплением многогранных пластин (наиболее распространенного на предприятиях) характеризуется множеством F_2 конструктивно-технологических параметров

$$F_2 = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7\}, \quad (2)$$

существенными из которых по ГОСТ 19042–80 являются форма A_1 , диаметр вписанной окружности A_2 , тип крепления A_3 , главный угол в плане A_4 , задний угол A_5 , толщина A_6 , вид стружколома A_7 .



Рис. 1. Классификация вариантов геометрических образов деталей

Выбор рационального типоразмера режущей пластины предлагается осуществлять по степени соответствия множеству критериев F_3 , накладываемых на инструмент

$$F_3 = \{C_1, C_2, C_3\}, \quad (3)$$

к которым относятся C_1 – прочность; C_2 – теплопроводность; C_3 – виброустойчивость. Оцен-

ка степени соответствия некоторого конструктивно-технологического параметра выбранному критерию производится на основе анализа экспериментальных исследований, приведенных в научно-технической и справочной литературе. Использование указанных критериев позволяет повысить вероятность безотказной работы инструмента в автоматическом режиме.

Конструктивно-технологические параметры режущих пластин



Рис. 2. Классификация параметров режущих пластин

В итоге, основываясь на информации чертежа обрабатываемой детали и маршрутной технологии, по разработанным классификациям

строятся графы, в которых содержатся известные характеристики технологического процесса. Проводится оценка связности графов, по ре-

зультатам которой определяется область возможных технических решений по выбору инструмента. На полученную область накладываются ограничения по надежности F_3 , производительности $P = f(V, s) \rightarrow \max$ и стоимости $S \rightarrow \min$. В зависимости от условий производства (серийности, допустимого количества брака, ценовой политики) могут быть использованы как все приведенные ограничения, так и их комбинации. Окончательное решение по выбору комплекта режущего инструмента из полученных вариантов остается за технологом предприятия, если в результате расчетов оно не является единственным.

Предлагаемый подход к выбору рационального режущего инструмента позволит сократить время технической подготовки производства при переходе на выпуск новой номенклатуры изделий, улучшить структуру технологических процессов путем удаления однотипных, дорогих и ненадежных инструментов и сократить себестоимость механической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веселова, Е. С. Современные направления в проектировании композиционных режущих пластин / Е. С. Веселова, Е. Г. Крылов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7(110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 78–80.
2. Капитанов, А. В. Критерии определения состава комплектов инструментов для автоматизированной станочной системы / А. В. Капитанов // Вестник Самарского государственного технологического университета. Серия «Технические науки». – 2008. – № 2(22). – С. 228–230.
3. Разманова, Т. И. Формирование рациональных комплектов технологической оснастки для оборудования сверлильной группы / Т. И. Разманова, С. Г. Митин, Ю. П. Бочкарев // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2012. – № 3. – С. 16–19.
4. The problems of rational selection of tool management systems on CNC machines / E. G. Krylov, N. V. Kozlov, A. B. Mishkevich & V. V. Litvinzeva // Technical Sciences: Modern Issues and Development Prospects : International Conference, December 10, 2013, Sheffield (UK) : Proceedings. – [San Francisco (California)], 2013. – P. 29–30.
5. Митрофанов, В. Г. Моделирование и оптимизация технологических процессов механической обработки / В. Г. Митрофанов, О. И. Драчев, А. В. Капитанов, А. Н. Кравцов; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – Волгоград: ВолгГТУ; Тольятти: ОНИКС, 2013. – 457 с.

УДК 621.91.02

*Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев, А. Б. Мишкевич, В. В. Литвинцева***АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

В статье проанализированы основные факторы, влияющие на рациональный выбор режущего инструмента для автоматизированного оборудования. Для сокращения трудовых и материальных затрат, связанных с выбором режущего инструмента, предложена методика разработки информационной системы на базе CALS-технологий.

Ключевые слова: режущий инструмент, информационная система, технологические решения, жизненный цикл.

The article deals with the analysis of the main factors that affect the rational choice of a cutting tool for automated equipment. The methods of developing an information system on the basis of CALS-technologies is proposed to use to reduce labor and material costs connected with the selection of the cutting tool.

Keywords: cutting tool, information system, technological solutions, life cycle.

Современное металлорежущее оборудование с ЧПУ обеспечивает требуемую экономическую эффективность изготовления деталей при одновременном выполнении двух технологических условий – максимальной производительности и заданной точности обработки [1]. Одним из значимых факторов, влияющих на реализацию указанных условий, является выбор режущего инструмента. Конструкции современных режущих инструментов одного функционального назначения различаются структурной компоновкой и геометрическими параметрами режущих, корпусных и крепежных

элементов, число вариантов которых может достигать нескольких сотен комбинаций. Выбор конструкции режущего инструмента осуществляется в большей степени на основании рекламных материалов, личного или коллективного производственного опыта. При этом возникает необходимость принимать решения, учитывающие комплекс различных аспектов: качество обрабатываемых поверхностей деталей, режимы обработки, изнашивание и стойкость инструмента [2]. В настоящее время на большинстве предприятий продолжает сохраняться сложившаяся в период командно-адми-

нистративной экономики универсальная организационно-производственная структура системы инструментального обеспечения, которая не позволяет сформировать объективные решения по выбору режущего инструмента. Наибольшие проблемы в подборе оптимального инструмента испытывают малые машиностроительные предприятия, не имеющие полноценного производственного опыта [3].

Сокращение объемов выпуска продукции отечественных заводов и высокая энергоемкость производства многих видов инструментальных материалов и инструмента в сочетании с растущими ценами на электроэнергию привело к резкому снижению изготовления всех видов инструмента и активному его замещению импортными аналогами. По данным статистики, доля покупного инструмента достигает 80 % в системе инструментального обеспечения предприятий. Основными иностранными поставщиками режущего инструмента являются компании Sandvik Coromant (Швеция), Kennametal (США), Iscar (Израиль), Walter AG (Германия). Отечественная продукция представлена такими производителями как ФГУП НИИТС (Москва), АООТ «Кировоградский завод твердых сплавов» (Свердловская область), ОАО «Георгиевский инструментальный завод» (Ставропольский край), «Томский инструмент» (г. Томск). Режущий инструмент иностранного производства, как правило, превосходит отечественный по качеству и разнообразию номенклатуры, но имеет более высокую стоимость, и его высокие характеристики зачастую могут быть обеспечены только в специально созданных производственных условиях. В этой связи выбор и подготовка номенклатуры инструментального обеспечения для обработки изделий на многофункциональном станочном модуле с ЧПУ является многокритериальной технико-экономической задачей.

Решение данной задачи возможно при использовании системного подхода к рассмотрению производственной деятельности предприятия. На современных предприятиях для оценки качества изделий на этапах разработки, производства, эксплуатации и ремонта все чаще используется концепция на основе понятия жизненного цикла. Под жизненным циклом понимают интервал времени от момента возникновения потребности в изделии до его физического или морального устаревания. Жизненный цикл изделия имеет определенную структуру, которая может быть представлена в виде ряда

этапов, на каждом из которых решаются свои специальные задачи (рис. 1). Понятие изделия и его жизненного цикла являются основными при анализе, разработке и модернизации организационной структуры производственной системы. Повышение эффективности системы инструментального обеспечения и согласование ее работы с другими службами предприятия, участвующими в проектировании, производстве и реализации продукции, может быть достигнуто при использовании информационной и компьютерной поддержки, которая получила название CALS-технологий [4].

Концепция CALS-технологий определяет набор стандартов, в соответствии с которыми строится компьютерное взаимодействие служб предприятия и обеспечивается «безбумажный» электронный обмен данными. Особенностью CALS-технологий является представление информации о всех объектах и процессах, функционирующих на всех этапах жизненного цикла изделий, в едином компьютеризованном информационном пространстве.



Рис. 1. Этапы жизненного цикла изделий машиностроения

Следовательно, для сокращения трудовых и материальных затрат при выборе номенклатуры режущего инструмента необходимо создать информационную систему, использующую обоснованную систему оценок, с возможностью ее интеграции в единую компьютеризованную сеть предприятия. Последовательность разработки такой системы можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 2.

Стадии разработки, указанные на рис. 2, предполагают мероприятия:

1. Разработка системы описания и классификации конструктивных и технологических параметров сборного режущего инструмента.
2. Разработка экономических критериев оценки выбора инструмента.

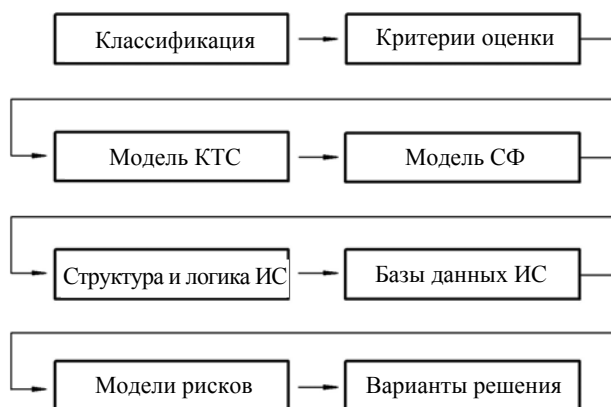


Рис. 2. Стадии разработки информационной системы

3. Разработка математической модели конструктивно-технологической сложности сборного режущего инструмента.

4. Разработка обобщенной структурно-функциональной модели процесса выбора сборного режущего инструмента.

5. Обоснование структуры и логики функционирования информационной системы.

6. Разработка и наполнение баз данных информационной системы.

7. Моделирование рисков и контроля принятия решений по параметрам состояния режущего инструмента.

8. Формирование возможных вариантов решения задачи рационального выбора инструмента.

В предлагаемой информационной системе предусмотрено решение на основе принципов проектирования экспертных систем, которое позволяет определенным образом вводить и использовать в базе знаний систему правил для выбора технологических проектных решений. Это обеспечивает возможность пользователю

изменять или добавлять по своему усмотрению новые правила, учитывающие различные варианты конструкции изделий, и расширять таким образом область применения информационной системы.

Реализация подобной информационной системы согласуется с паспортом подпрограммы «Развитие отечественного станкостроения и инструментальной промышленности» на 2011–2016 годы федеральной целевой программы «Национальная технологическая база», в котором в числе приоритетных задач указана «...разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений в процессе технологической подготовки производства сложного механообрабатывающего оборудования и инструмента (мероприятие 16, раздел 74)».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Неизвестных, А. Г.* Анализ точности обработки деталей на станках с ЧПУ / А. Г. Неизвестных, Е. Г. Крылов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 89–91.
2. *Плотников, А. Л.* Проблема выбора рациональных усилий зажима заготовок 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.
3. *Бекетов, Н. В.* Проблемы развития российской станкостроительной промышленности: инерционный и инновационный сценарий развития / Н. В. Бекетов // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2010. – № 2. – С. 9–34.
4. *Митрофанов, В. Г.* Моделирование и управление производственными системами / В. Г. Митрофанов, О. И. Драчев, А. В. Капитонов ; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – Ирбит : ОНИКС, 2011. – 239 с.

УДК 621.317.39

Р. Н. Кулагин, Н. В. Федорова, Д. А. Сулейманов

АНАЛИЗ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Статья посвящена анализу и классификации средств контроля поверхностных дефектов, возникающих при пластической обработке крупногабаритных изделий. Дается оценка эффективности различных неразрушающих методов контроля (НМК). Классификация дефектов позволяет рационально выбрать метод и средства контроля.

Ключевые слова: поверхностные дефекты, средства контроля, пластическая обработка, неразрушающие методы контроля.

Article is devoted to the analysis and classification of surface defects, obtained by the plastic treatment of large-sized products. Classification of defects allows you to choose the right method and means of verification. The estimate of the detection of defects of various non-destructive testing (NDT).

Keywords: surface defects, controls, plastic processing, nondestructive testing.

Улучшение качества промышленной продукции, повышение надежности и долговечности изделий возможно при условии совершенствования производства и внедрения системы автоматического управления. В металлургическом производстве одним из важных критериев качества изделий является отсутствие дефектов поверхности. К таким дефектам относят риски, царапины, вмятины, раковины, поры, сколы, выкрашивания, трещины, задиры, заусенцы и др. [1]. Часть из них влияет на эксплуатационные параметры готовых изделий.

При анализе дефектов поверхностного слоя и средств их контроля целесообразно создание информационно-технологической среды на основе синергетического подхода.

Рационально выбранные неразрушающие методы контроля (НМК) или дефектоскопия позволяют обеспечить частичную или полную автоматизацию операций контроля при одновременном значительном повышении качества и надежности изделий.

Эффективность современных НМК определяется большим числом факторов, главными из которых являются выявляемость дефектов, производительность, точность, безопасность, стоимость и возможности автоматизации на базе ПК.

В зависимости от принципа работы все НМК можно разделить на акустические, капиллярные, магнитные, оптические, радиационные, радиоволновые, тепловые, контроль течеисканием, электрические, электромагнитные или токовых (см. таблицу).

В таблице приведены области применения НМК. Даны краткие сведения о возможностях, достоинствах и недостатках основных НМК, которые могут быть реализованы с помощью серийной аппаратуры. В столбце 2 указаны объекты контроля, в столбце 3 приведены типы обнаруживаемых дефектов, в столбце 4 даны измеряемые параметры дефектов, в столбце 5 даны требования к чистоте контролируемой поверхности.

Возможности и области применения НМК

Метод	Объекты контроля	Типы обнаруживаемых дефектов	Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов	Требования к объекту контроля	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5	6	7
Акустический контроль	Слитки и фасонные отливки	Внутренние трещины, раковины, неметаллические включения, флокеноподобные дефекты	Эквивалентная площадь дефекта $\geq 5 \text{ мм}^2$	Простая форма, мелкозернистая структура, обработка поверхности Rz10	Выявление дефектов с малым раскрытием, характерных для деформированного металла	Необходимость создания акустического контакта через жидкую среду и ограничения по чистоте обработки поверхности
	Покówki, штамповки, сортовой прокат толщиной $\geq 10 \text{ мм}$	Внутренние трещины, раковины, неметаллические включения, а также (при малых толщинах и для сплошных цилиндров малого диаметра) поверхностные заковы, закаты, включения	Эквивалентная площадь дефекта $\geq 3 \text{ мм}^2$ (в отдельных случаях $\geq 0,5 \text{ мм}^2$)	Простая форма, обработка поверхности Rz10	Возможность контроля больших толщин (до 2–5 м в зависимости от структуры металла)	Малая чувствительность при контроле крупнозернистых материалов, например, литых изделий и сварных соединений из аустенитных сталей
	Листовой прокат толщиной $\geq 5 \text{ мм}$	Внутренние расслоения и другие дефекты, ориентированные в плоскости прокатки	Эквивалентная площадь дефекта $\geq 1 \text{ мм}^2$ или условная площадь $\geq 5 \text{ см}^2$	Очистка поверхности от грязи, отслаивающейся окислы	Высокая производительность и малая стоимость контроля	Отсутствие наглядности и сложность расшифровки результатов контроля, оценка размеров и формы дефектов с большими погрешностями
	Трубы диаметром $\geq 4 \text{ мм}$ и толщиной $\geq 1 \text{ мм}$	Внутренние поверхностные трещины, риски, закаты, включения	Эквивалентная глубина дефекта $\geq 3 \%$ от толщины стенки трубы	Очистка поверхности от грязи, отслаивающейся окислы	Высокая производительность и малая стоимость контроля	Отсутствие наглядности и сложность расшифровки результатов контроля, оценка размеров и формы дефектов с большими погрешностями

Продолжение таблицы

Метод	Объекты контроля	Типы обнаруживаемых дефектов	Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов	Требования к объекту контроля	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5	6	7
	Сварные соединения стыковые, тавровые, угловые, крестообразные толщиной ≥ 6 мм	Внутренние трещины, непровары, газовые поры, включения, несплавления, утяжки	Эквивалентная площадь дефекта ≥ 3 мм ²	Мелкозернистая структура наплавленного металла	Возможность автоматизации (при простой геометрической форме изделия)	Отсутствие наглядности и сложность расшифровки результатов контроля, оценка размеров и формы дефектов с большими погрешностями
Радиографический контроль	Сварные и резбовые соединения	Непровары, трещины, поры, шлаковые включения, непропаи	Локальные дефекты размером $\geq 1,5-2$ % от контролируемой толщины	Двухсторонний доступ, отсутствие наружных дефектов, превышающих чувствительность контроля	Высокая чувствительность контроля, наглядность результатов контроля, наличие документа о результатах контроля	Радиационная опасность, большая длительность технологического цикла контроля, расход дорогостоящей радиографической пленки
	Литые изделия	Трещины, раковины, пористость, рыхлоты	Локальные дефекты размером $\geq 2-4$ % от контролируемой толщины	Двухсторонний доступ, отсутствие наружных дефектов, превышающих чувствительность контроля	Высокая чувствительность контроля, наглядность результатов контроля, наличие документа о результатах контроля	Радиационная опасность, большая длительность технологического цикла контроля, расход дорогостоящей радиографической пленки
Магнитный	Металлические изделия, полуфабрикаты и сварные изделия	Поверхностные и подповерхностные (на глубине до 2–3 мм), трещины, волосовины, заковы, закаты, включения, флокены, непровары	Раскрытие дефекта ≥ 2 мм, глубина ≥ 20 мкм, протяженность $\geq 0,5$ мм	Ферромагнитные металлы, чистота обработки поверхности Rz2,5	Простота и наглядность контроля, возможность применения метода для изделий любой формы	Загрязнение поверхности, необходимость размагничивания изделий после контроля, возможность образования прижогов на поверхности
Токовихревой	Металлические изделия и полуфабрикаты	Поверхностные и подповерхностные (на глубине до 2–3 мм), трещины, волосовины, заковы, закаты, включения, флокены, непровары	Ширина дефекта $\geq 0,5$ мкм, глубина $\geq 100-200$ мкм, протяженность $\geq 0,5-1$ мм	Чистота обработки поверхности Rz2,5	Бесконтактное возбуждение вихревых токов, возможность автоматизации при больших скоростях контроля с записью результатов, возможность контроля внутренних поверхностей, возможность контроля через неметаллические покрытия	Трудность выделения полезного сигнала на фоне помех, обусловленных его зависимостью от многих параметров контролируемого изделия, отсутствие наглядности результатов контроля
Капиллярный	Металлические изделия, полуфабрикаты и сварные изделия	Поверхностные открытые трещины, поры, коррозионные поражения	Раскрытие дефекта ≥ 1 мкм, протяженность $\geq 3-5$ мм	Чистота обработки поверхности Rz20	Простота и наглядность контроля, возможность контроля изделий различной формы	Необходимость удаления с поверхности защитных покрытий, смазок, окалины и других загрязнений после операций контроля

Окончание таблицы

Метод	Объекты контроля	Типы обнаруживаемых дефектов	Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов	Требования к объекту контроля	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5	6	7
Течеисскания	Конструкции и изделия энергетических узлов	Сквозные дефекты в сварных соединениях и основном металле	Дефекты дающие натекание $> 6,7 \cdot 10^{-11}$, м ³ Па/с	Изделия, которые могут быть помещены в вакуумную камеру или воду; замкнутые и разомкнутые корпусные конструкции	Большой арсенал способов контроля различных классов изделий	Необходимость осушки изделия нагревом до 150–400 °С или применения различных индикаторных составов

Визуальные и капиллярные методы контроля для изделий из ферромагнитных материалов позволяют обнаруживать дефекты только на поверхности изделия. Магнитными и токовых-ревыми методами можно определить как поверхностные, так и подповерхностные дефекты. Радиационными и акустическими методами можно обнаружить поверхностные, подповерхностные и внутренние дефекты.

Для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов (нарушений сплошности, неоднородности структуры, дефектов склейки, сварки и т. п.) в изделиях применяют *акустические (ультразвуковые) методы*. Они позволяют контролировать геометрические параметры при одностороннем доступе к изделию, а также физико-механические свойства металлов и металлоизделий без их разрушения. В настоящее время разработаны и успешно применяются теневой, резонансный, эхоимпульсный, эмиссионный, импедансный и метод свободных колебаний [2].

Капиллярные методы основаны на капиллярном проникновении капель индикаторных жидкостей в полости поверхностных дефектов. Капиллярные методы используются в полевых, цеховых и лабораторных условиях в широком диапазоне рабочих температур. Они позволяют обнаруживать термические и шлифовочные трещины, волосовины, закаты и пр.

Магнитные методы контроля позволяют обнаружить дефекты типа несплошности материала (трещины, волосовины, закаты), а также определить механические характеристики ферромагнитных сталей и чугунов по изменению их магнитных характеристик.

Визуально-оптические методы контроля широко применяют из-за большого разнообразия способов получения первичной информа-

ции о наличии наружных дефектов независимо от материала контролируемого объекта (КО).

Электромагнитный метод (вихревых токов) применяют для обнаружения поверхностных дефектов в магнитных и немагнитных изделиях. Этот метод позволяет обнаруживать сплошности (в основном трещины) на различных по конфигурации изделиях.

Методы контроля течеиссканием основаны на регистрации индикаторных жидкостей и газов, проникающих в сквозные дефекты КО. Их применяют для контроля герметичности (трубопроводов).

Радиационные методы контроля используют для обнаружения поверхностных, подповерхностных и внутренних дефектов изделий при контроле отливок, проката, сварных и паяных швов и т. п.

С точки зрения автоматизации контроля, наиболее благоприятны токовых-ревые и магнитные методы, радиационный и некоторые виды тепловых методов. Главное их преимущество заключается в отсутствии прямого контакта с изделием и в предоставлении информации о дефектах в виде показаний приборов. Трудность автоматизации других методов контроля заключается в необходимости визуальной обработки информации о дефектах. Проведенный анализ дает возможность рационально выбрать методы и средства контроля поверхностных дефектов различных изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белокур, И. П. Дефектология и неразрушающий контроль / И. П. Белокур. – Киев : Вища шк., 2005. – 207 с.
2. Новокиценова, С. М. Дефекты стали : Справочник / С. М. Новокиценова. – М. : Металлургия, 1984. – 200 с.
3. Якушев, А. И. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения / под ред. А. И. Якушева. – 3-е изд. – М. : Машиностроение, 1980. – 395 с.

УДК 621.783.223:517.977.5

М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев, А. М. Макаров

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАГРЕВА СЛЯБОВ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

На основе метода последовательных уступок и задачи линейного программирования разработан алгоритм оптимизации процесса нагрева слэбов в методической печи. При разработке использована упорядоченная последовательность частных критериев оптимизации и ограничения линейного вида на значения параметров управления.

Ключевые слова: методическая печь, перепад температур, удельный расход топлива, окалина, метод последовательных уступок, задача линейного программирования.

The algorithm of slabs heating process optimization in a continuous furnace has been developed in terms of method of successive concessions and linear programming problem. Ordered succession of partial optimization criteria and linear constraints on values of control parameters have been used in the development.

Keywords: continuous furnace, temperature difference, specific fuel rate, scale, method of successive concessions, linear programming problem.

При оптимизации процесса нагрева слэбов в методической печи предлагается применить метод последовательных уступок, заключающийся в оптимизации частных критериев в порядке их относительной значимости с одновременным назначением допустимой уступки, т. е. интервала, в котором могут варьироваться значения предыдущего критерия. В итоге должен быть обеспечен минимум последнего по значимости критерия, при условии, что значение каждого предыдущего критерия не должно отличаться от его минимального значения больше, чем на величину уступки. Если в ходе решения оптимизационной задачи величины заданных уступок по каждому из частных критериев будут исчерпаны, но при этом не будут выполняться ограничения на их значения, то необходимо изменить ограничения или повысить значения уступок по каждому из частных критериев [1].

В теплотехнической лаборатории ЗАО «ВМЗ «Красный Октябрь» проведены натурные эксперименты по нагреву заготовок в методических печах. На основе обработки результатов экспериментов определены целевые функции, которые характеризуют частные критерии оптимизации: перепад температур по толщине заготовки на выходе из печи $\Delta T_{\text{вых}}$, величину удельного расхода топлива на печь b , величину потерь металла с окалиной δ [2, 3]:

$$\Delta T_{\text{вых}} = 17,47x_1 + 15,81x_2 + 16,93x_3; \quad (1)$$

$$b = 83,6x_1 + 77,1x_2 + 86,1x_3; \quad (2)$$

$$\delta = 1,78x_1 + 1,56x_2 + 1,67x_3, \quad (3)$$

где x_1, x_2, x_3 – параметры управления, пропорционально связанные с температурными уставками зон печи.

На основе экспериментальных данных, полученных теплотехнической лабораторией ЗАО «ВМЗ «Красный Октябрь», сформирована система ограничений:

$$3,8x_1 + 2,1x_2 + 3,4x_3 \geq 2,7; \quad (4)$$

$$15,6x_1 + 12,3x_2 + 14,9x_3 \geq 11,8; \quad (5)$$

$$1,98x_1 + 1,84x_2 + 2,14x_3 \leq 1,8. \quad (6)$$

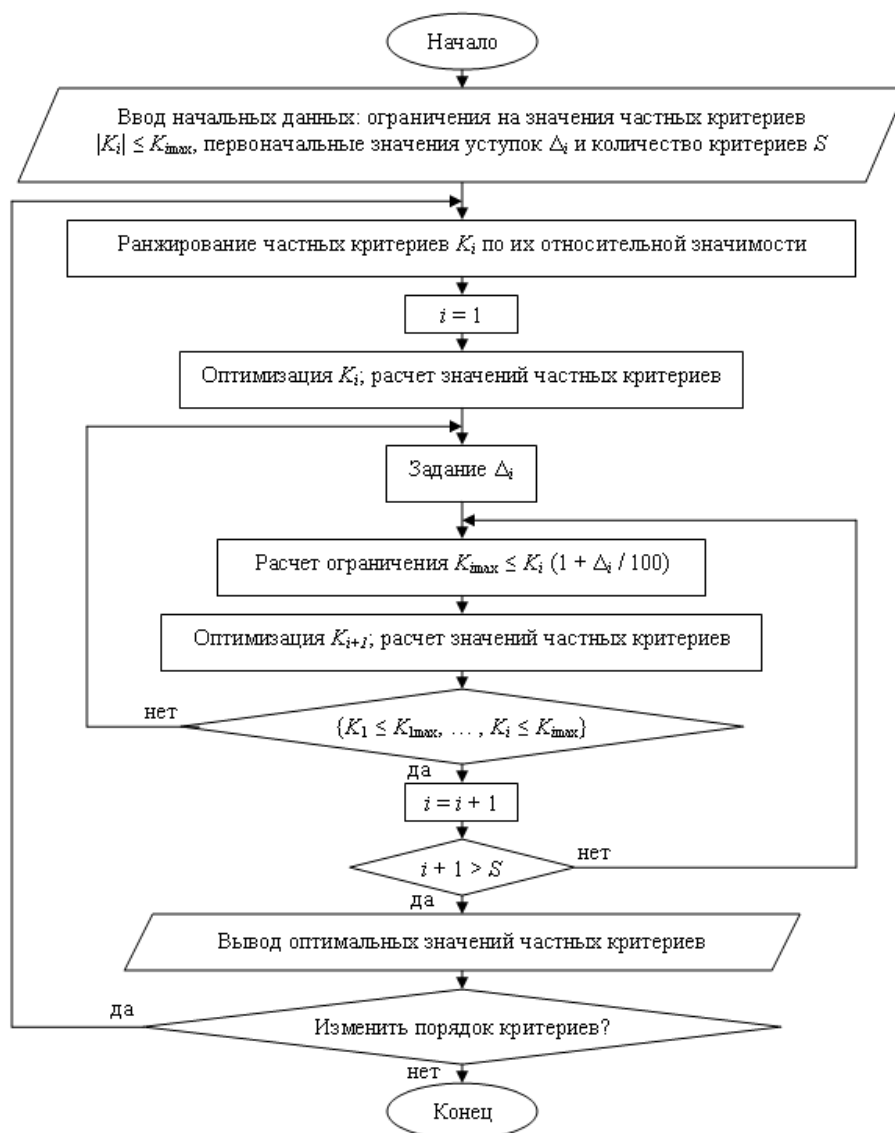
На каждом шаге решения оптимизационной задачи минимизируются целевые функции (1)–(3). Помимо ограничений (4)–(6) при решении задачи линейного программирования использованы естественные ограничения на значения параметров управления $x_1 > 0, x_2 > 0, x_3 > 0$ и ограничения на максимальные значения частных критериев оптимизации, которые выбраны с учетом технологических требований к качеству нагрева заготовок в методических печах, обусловленных опытом производственной практики на ЗАО «ВМЗ «Красный Октябрь»: 1) ограничение на перепад температур по толщине заготовки на выходе из печи ($\Delta T_{\text{вых}} = 17^\circ\text{C}$); 2) ограничение на величину удельного расхода топлива на печь ($b = 85 \text{ кг у.т./т}$); 3) ограничение на величину потерь металла с окалиной ($\delta = 2\%$).

Перед расчетом оптимальных значений частных критериев зададим уровень уступки по каждому критерию: 1) уровень уступки для перепада температур по толщине заготовки на выходе из печи: $\Delta T_{\text{вых}} = 5\%$; 2) уровень уступки для величины удельного расхода топлива на печь: $\Delta b = 7\%$; 3) уровень уступки для величины потерь металла с окалиной: $\Delta \delta = 10\%$.

Минимизация значений частных критериев на каждом этапе метода последовательных ус-

тупок производилась в программе Microsoft Excel с помощью надстройки «Поиск решения» [4], причем был выбран следующий порядок относительной значимости частных критериев:

$\Delta T_{\text{вых}}$, b , δ . Схема алгоритма оптимизации процесса нагрева слябов на основе метода последовательных уступок и задачи линейного программирования представлена на рисунке.



Алгоритм оптимизации процесса нагрева слябов на основе метода последовательных уступок и задачи линейного программирования

При изменении последовательности частных критериев или коррекции величин уступок производится перерасчет оптимальных значений. В результате решения оптимизационной задачи для случая полной загрузки печи слябами, относящимися к 1-й группе нагрева, получены значения параметров управления, обеспечивающие достижение оптимальных значений целевых функций ($\Delta T_{\text{вых}} = 14,7^\circ\text{C}$, $b = 72,2$ кг у.т./т, $\delta = 1,46\%$) [5]. На основе значений этих параметров рассчитаны оптимальные температурные уставки зон печи: температура первой сва-

точной зоны – 1230°C , температура верхней части второй сварочной зоны – 1310°C , температура нижней части второй сварочной зоны – 1280°C .

Задавая данные температурные значения в граничных условиях разработанной модели температурного поля рабочего пространства методической печи [6, 7], можно воссоздавать оптимальные режимы нагрева и анализировать влияние этих режимов на распределение температуры по всему объему рабочего пространства печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боярун, В. З. Оптимизация производства фосфора в руднотермической печи закрытого типа по комплексному критерию : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Боярун В. З. – СПб., 2000. – 184 с.
2. Сердобинцев, Ю. П. Выбор комплексного критерия оптимизации процесса нагрева в методической печи / Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик, К. Ф. Куадио // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 7(110) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 9). – С. 111–113.
3. Алехин, А. Г. Оптимальное управление многозонной нагревательной печью / А. Г. Алехин, М. П. Кухтик // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 54–56.
4. Акулич, И. Л. Математическое программирование

в примерах и задачах : учеб. пособие / И. Л. Акулич. – СПб. : Лань, 2011. – 352 с.

5. Serdobintsev, Y. P. Automated slab heating control system in a continuous furnace / Y. P. Serdobintsev, M. P. Kukhtik // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2013. – № 2. – Mode of access : <http://www.science-sd.com/455-24314>

6. Кухтик, М. П. Математическое моделирование процесса нагрева слэбов в методической печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 7). – С. 80–83.

7. Кухтик, М. П. Стационарная модель температурного поля садки металла в методической толкательной печи / М. П. Кухтик, Ю. П. Сердобинцев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8). – С. 114–116.

УДК 621.798.34

А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев, Е. Г. Крылов, И. В. Волков

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАПОЛНЕНИЯ ГИБКИХ КОНТЕЙНЕРОВ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Для решения задачи полной автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры разработана конструкция устройства и электропневматическая схема системы автоматического управления. Для подачи управляющих сигналов на электропневматические распределители может быть использован микроконтроллер. Написана управляющая программа для работы устройства в автоматическом режиме.

Ключевые слова: гибкий контейнер, расфасовка, система управления, управляющая программа.

A device design and an electropneumatic diagram of automatic control system have been developed for solution of full automation problem of bulk materials packaging in flexible containers. A microcontroller can be used for injection of control signals on electropneumatic valves. A control program for device operation in automatic mode has been written.

Keywords: flexible container, packaging, control system, control program.

Сыпучие материалы широко распространены в отраслях пищевой, химической, перерабатывающей промышленности, в строительстве, сельском хозяйстве, а также в повседневной жизни человека. В настоящее время процессы дозирования, упаковки и транспортировки сыпучих материалов занимают одно из ведущих мест.

Важным этапом доставки сыпучих материалов от производителя к потребителю является процесс их расфасовки и упаковки в различные виды тары. Часто для этого используют мягкие виды тары, например гибкие контейнеры. Процессы расфасовки нередко являются вредными для здоровья, трудоемкими, утомительными и травмоопасными и поэтому требуют полной автоматизации [1]. Для решения этой задачи разработана конструкция устройства для автоматического наполнения гибких контейнеров сыпучим материалом, содержащего

го рычажно-шарнирный захватный механизм и пневматический привод [2–4].

Для управления устройством может быть использована цикловая система управления, позволяющая отрабатывать все этапы цикла автоматической расфасовки. Для управления пневматическими цилиндрами привода устройства выбраны электропневматические золотниковые распределители с электрическим управлением. Схема системы автоматического управления расфасовочной линией по заданному циклу представлена на рис. 1. Пневмоцилиндры Ц1 – Ц5 и электропневмораспределители Р1 – Р5 показаны в исходном положении на начало цикла. Сжатый воздух подается от ресивера компрессора через фильтр Ф и стабилизатор с манометром МН ко всем распределителям. При этом Р1 используется для раскрытия и закрытия рычажно-шарнирного захватного устройства (РШЗУ), Р2 – для управления

миницилиндрами Ц21 и Ц22, Р3 – для подъема или опускания захватов, необходимых при предварительном открывании гибкого контейнера, Р4 – для поворота РШЗУ, Р5 – для подъема или опускания загрузочного патрубка.

Последовательное управление распределителями обеспечивает выполнение полного цикла работы расфасовочной линии, позволяющей

поштучно приоткрыть гибкий контейнер, захватить его, переместить на позицию загрузки, открыть, опустить загрузочный патрубок на время наполнения (при этом выдерживается определенная пауза для дозирования), затем поднять его и растянуть горловину контейнера в линию для прошивки (также выдерживается некоторая пауза).

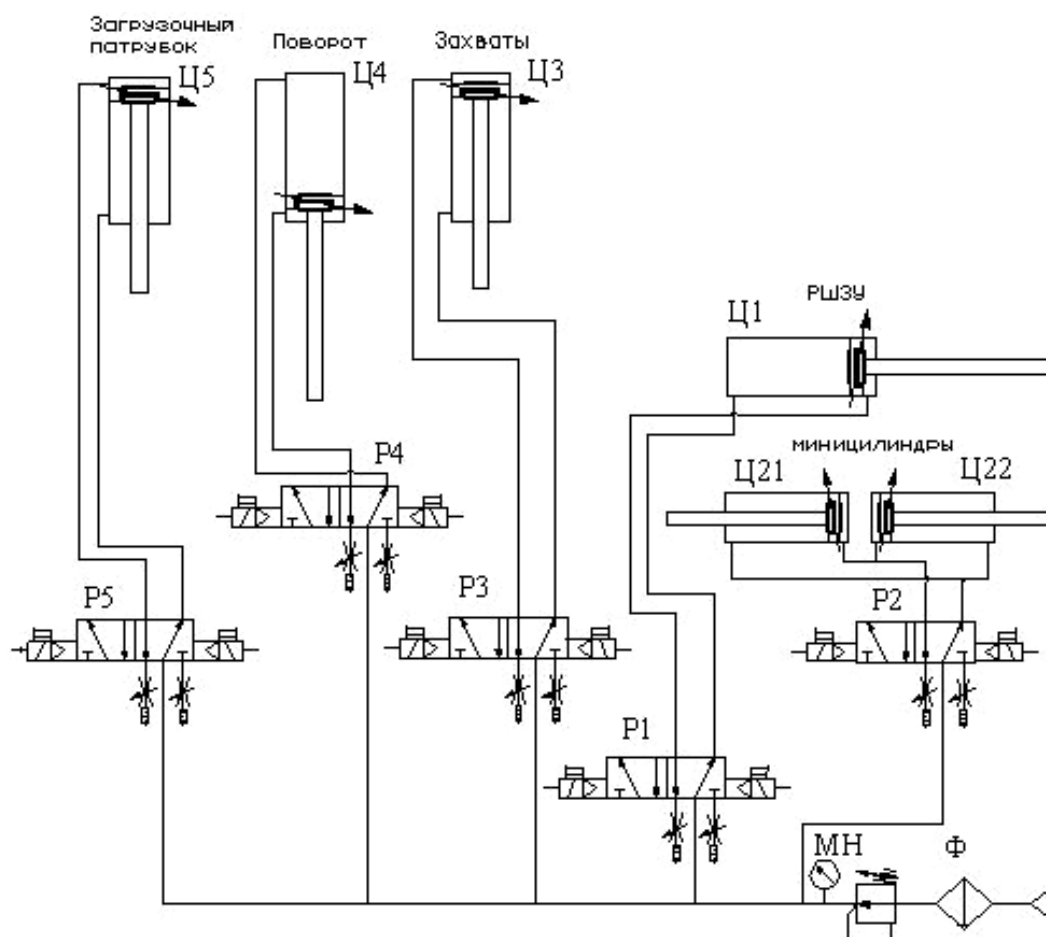


Рис. 1. Схема системы автоматического управления на базе электропневматических распределителей

Для подачи электрических управляющих сигналов на электропневмораспределители может быть использован любой промышленный микроконтроллер. Для экспериментального образца устройства [5] был выбран микроконтроллер Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 с интерфейсом ATmega16U2 на базе аппаратной вычислительной платформы Arduino, так как он легко программируется и настраивается под любую несложную задачу с помощью среды разработки на языке Processing/Wiring. Контроллер имеет 54 цифровых входа/выхода, что вполне достаточно для подключения магнитных датчиков положения (входы), определяющих положение поршней пневмоцилиндров привода, а также соленоидов

(через плату согласования) электропневматических распределителей (выходы), отвечающих за управление пневмоцилиндрами за счет переключения направления движения воздуха от ресивера компрессора. Для управления приводами расфасовочной линии и непрерывной работы устройства по заданному циклу в среде разработки на языке Processing/Wiring написана программа управления микроконтроллером, которая позволяет задействовать определенные входы и выходы микроконтроллера и подает на них сигналы или считывает информацию в определенное время в зависимости от этапа цикла расфасовки. Фрагмент листинга управляющей программы представлен на рис. 2.

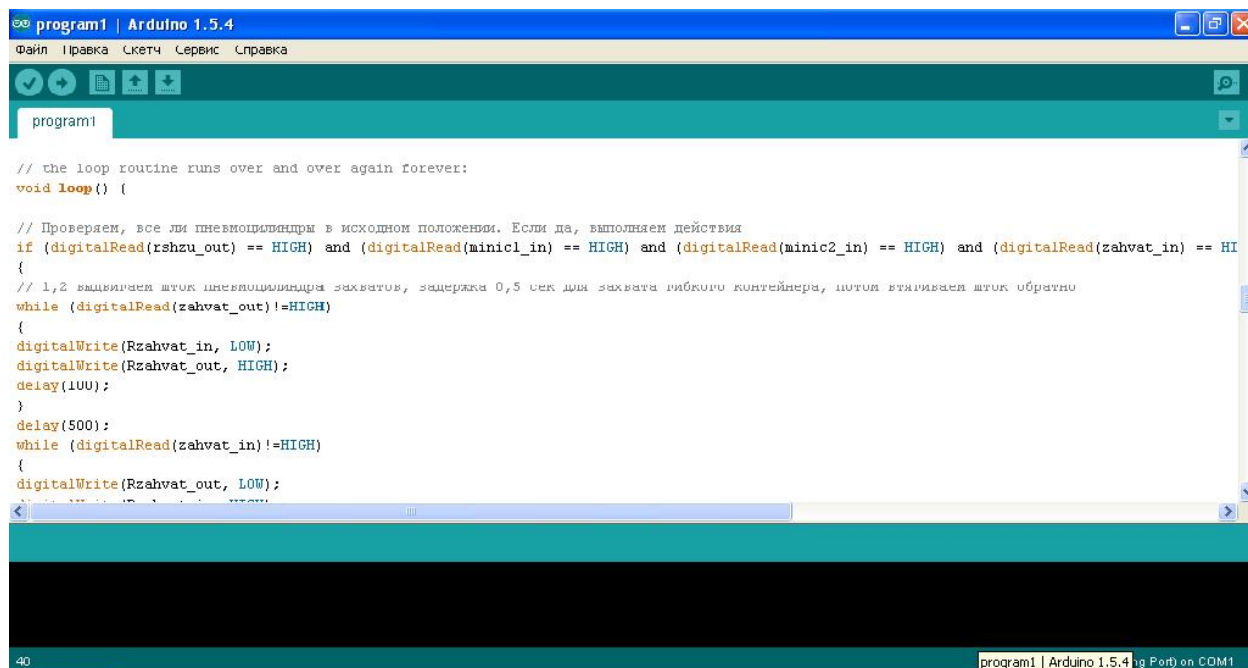


Рис. 2. Фрагмент листинга программы управления

Перед началом очередного цикла программа проверяет, находятся ли пневматические цилиндры в исходном положении (показано во фрагменте на рис. 2), и если это так, то начинает последовательно обрабатывать цикл манипулирования гибким контейнером для его автоматического наполнения от предварительного отключения до прошивки.

Использование предложенного устройства с автоматической системой управления позволяет освободить оператора от тяжелой, утомительной работы и вывести его из вредной рабочей зоны, таким образом, полностью автоматизировать процесс расфасовки сыпучих материалов в гибкие контейнеры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров, А. М. Автоматическая расфасовка сыпучих материалов в мягкую тару. Повышение эффективности процесса / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев. – Самара: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 128 с.

2. Власов, К. В. Устройство для автоматической расфасовки сыпучих материалов в мягкую тару / К. В. Власов, А. М. Макаров // Прогрессивные направления развития машиноприборостроения, транспорта и экологии : матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Севастополь, 20–23 мая 2013 г. / Севастопольский нац. техн. ун-т (СевНТУ). – Севастополь, 2013. – С. 13–14.

3. Макаров, А. М. Синтез рычажно-шарнирных захватных устройств для манипулирования мягкой расфасовочной тарой / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(100) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8). – С. 117–119.

4. Пат. 2469928 РФ, МПК В 65 В 7/02, В 65 В 5/00. Устройство для автоматического раскрытия, удержания и закрытия мешков / А. М. Макаров, Л. А. Рабинович, Ю. П. Сердобинцев; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный технический университет; заявл. 31.05.2011; опубл. 12.20.2012.

5. Макаров, А. М. Исследование устройства для автоматического наполнения гибких контейнеров сыпучим материалом / А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев, А. С. Сергеев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 114–117.

УДК 621.891

*М. М. Матлин, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин, М. А. Куликова***ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ СТЫКА ДЕТАЛЕЙ РАВНОЙ ТВЕРДОСТИ*****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: detmash@vstu.ru, matlin@vstu.ru

На основе закономерностей упругопластического контакта отдельного сферического микровыступа шероховатой поверхности получены зависимости для определения сближения в контакте плоских поверхностей при равных твердостях их материалов.

Ключевые слова: микровыступ, внедрение, сплющивание, пластическая твердость, сближение, фактическая площадь контакта.

Relation for the definition of convergence of flat surfaces at equal hardness of materials obtained on the basis of the laws of elastoplastic contact of single spherical microtongue of rough surface.

Keywords: microtongue, indentation, flattening, plastic hardness, convergence, actual contact area.

Сближение в контакте шероховатых поверхностей во многом определяет контактную жесткость и прочность соединений деталей машин. Как известно, полное сближение состоит из упругого и остаточного сближения. Для поверхностей, имеющих грубо обработанную поверхность и нагруженных большой нагрузкой, упругой составляющей сближения можно пренебречь. Однако для более гладких поверхностей такое пренебрежение может привести к значительной ошибке. В связи с этим исследование закономерностей упругопластического контакта шероховатых поверхностей имеет большое значение для машиностроения.

Контакт двух шероховатых поверхностей можно заменить контактом шероховатой и гладкой поверхностей путем введения понятия «эквивалентная шероховатая поверхность» [1].

Рассмотрим контакт номинально плоской шероховатой поверхности с гладкой. При этом возможны два случая контакта шероховатых поверхностей: в первом случае твердости контактирующих поверхностей различаются более чем в два раза. Тогда микровыступы шероховатой поверхности внедряются в гладкую поверхность или сплющиваются под действием нагрузки, т. е. происходит только внедрение или сплющивание. Во втором случае твердости различаются меньше чем в два раза, тогда микровыступы поверхностей одновременно как внедряются, так и сплющиваются под действием нагрузки. В работе рассматривается частный случай близких твердостей материалов, когда соотношение твердостей материала поверхностей будет равно единице, т. е. твердости равны.

Для создания метода определения сближения, удобного для практического применения, была предложена «одноуровневая» модель [2], в которой все микровыступы расположены на одном уровне, а для каждого реального значения фактической площади контакта принимается соответствующее количество микровыступов. Определение ФПК в зависимости от сближения при использовании такой модели является вполне обоснованным. Однако вопрос о соответствии сил, действующих в модели и в контакте реальных поверхностей близкой твердости, остается открытым.

Рассмотрим реальную шероховатую поверхность, в которой все микровыступы имеют одинаковые радиусы и расположены на N уровнях, при этом разница между уровнями равна α_i/N , где α_i – деформация микровыступов на первом уровне. Сила, которая прижимает поверхность к гладкой поверхности, равна F_N и приложена ко всем уровням. Также рассмотрим модель поверхности, в которой все микровыступы расположены на одном уровне, и она прижимается к гладкой поверхности с силой F_M . Отметим, что сила F_M обеспечивает сближение и фактическую площадь контакта модели, равную сближению и ФПК реальной поверхности. Соотношение сил в реальном контакте и в модели может быть описано коэффициентом силового подобия k как

$$k = \frac{F_N}{F_M} = \frac{\sum_{j=1}^N n_j F'_j}{n F'_1}, \quad (1)$$

где n_j и n – соответственно число микровыступов j -го уровня и одноуровневой модели; F'_j и F'_1 – соответственно нагрузка на единичный микровыступ j -го уровня и модели.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-00131/14 и Минобрнауки России в рамках госзадания № 2014/16 (проект № 2986)

Сближение на j -м уровне α_j может быть определено как:

$$\alpha_j = \alpha_1 - (j-1) \frac{\alpha_1}{N},$$

где α_1 – сближение на первом уровне. Тогда

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_j} = \frac{N}{N+1-j}. \quad (2)$$

Полное сближение α в контакте включает в себя упругое сближение α_y и остаточную деформацию h , состоящую из внедрения и смятия микровыступов:

$$\alpha_j = \alpha_{y,j} + h_j.$$

Эти составляющие могут быть определены как [2; 3]:

$$\alpha_{y,j} = \sqrt[3]{\frac{9\pi^2 F_j'^{1/2} (k_1 + k_2)^2}{16R \left[1 + \frac{2h}{\alpha_{y,j}}\right]}}, \quad h_j = aR \left(\frac{F_j'}{\text{НД}_{\text{пр}} R^2} \right)^b, \quad (3)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от свойств материала поверхностей, R – радиус микровыступов, a и b – коэффициенты, зависящие от соотношения пластической твердости материала шероховатой ($\text{НД}_{\text{ш}}$) и гладкой поверхностей (НД) $\text{НД}_{\text{ш}}/\text{НД}$; $\text{НД}_{\text{пр}}$ – приведенная пластическая твердость [4].

Коэффициенты a и b могут быть рассчитаны следующим образом [5]:

$$a = \frac{0,057}{(\text{НД}_{\text{ш}}/\text{НД})^{1,72}} + 0,142, \quad b = 1,306 - 0,153 \left(\frac{\text{НД}_{\text{ш}}}{\text{НД}} \right).$$

Поскольку в работе рассматривается случай равных твердостей, то коэффициенты a и b принимают значения $a = 0,199$ и $b = 1,153$.

Подставим эти значения в формулу (3) и представим ее в виде:

$$h_j = 0,199R \left(\frac{F_j'}{\text{НД}_{\text{пр}} \cdot R^2} \right)^{0,667} \left(\frac{F_j'}{\text{НД}_{\text{пр}} \cdot R^2} \right)^{0,486}. \quad (4)$$

Расчеты показывают, что при изменении $\frac{h_j}{R}$ в пределах от 0,002 до 0,2 величина

$$\left(\frac{F_j'}{\text{НД}_{\text{пр}} \cdot R^2} \right)^{0,486} \text{ изменяется от } 0,118 \text{ до } 1,187.$$

Исходя из этого, примем величину

$$\left(\frac{F_j'}{\text{НД}_{\text{пр}} \cdot R^2} \right)^{0,486} = 0,535. \text{ Тогда после преобра-}$$

зования формулы (4) сближение в контакте может быть представлено как:

$$\alpha_j = \alpha_{y,j} + h_j = \sqrt[3]{\frac{9\pi^2 F_j'^{1/2} (k_1 + k_2)^2}{16R \left[1 + \frac{2h_j}{\alpha_{y,j}}\right]}} + 0,106R \left(\frac{F_j'}{\text{НД}_{\text{пр}} R^2} \right)^{0,667}. \quad (5)$$

Подставив выражение (5) в левую часть уравнения (2) и умножив числитель и знаменатель на

$$\sqrt[3]{\frac{16R(1 + \frac{2 \cdot h_l}{\alpha_{y,l}})}{9\pi^2 (k_1 + k_2)^2}},$$

получим

$$\frac{\alpha_l}{\alpha_j} = \left(\frac{F_l'}{F_j'} \right)^{0,667} \frac{m_c + 1}{m_c + \sqrt[3]{\frac{1 + 2h_l/\alpha_{y,l}}{1 + 2h_j/\alpha_{y,j}}}} = \frac{N}{N+1-j}, \quad (6)$$

$$\text{где } m_c = \frac{0,106R}{(\text{НД}_{\text{пр}} R^2)^{0,667}} \sqrt[3]{\frac{16R(1 + 2h_l/\alpha_{y,l})}{9\pi^2 (k_1 + k_2)^2}}.$$

$$\text{Примем } \sqrt[3]{\frac{1 + 2h_l/\alpha_{y,l}}{1 + 2h_j/\alpha_{y,j}}} = \gamma_1 \text{ и } \frac{\alpha_{y,l} + h_l}{\alpha_{y,j} + h_j} = \gamma_2.$$

Расчеты показывают, что значение γ_1 можно принять приблизительно равным значению γ_2 :

$$\gamma_1 = \sqrt[3]{\frac{1 + 2h_l/\alpha_{y,l}}{1 + 2h_j/\alpha_{y,j}}} \approx \gamma_2 = \frac{\alpha_{y,l} + h_l}{\alpha_{y,j} + h_j} = \frac{\alpha_l}{\alpha_j} = \frac{N}{N+1-j}. \quad (7)$$

С учетом (7) уравнение (6) принимает вид:

$$\left(\frac{F_l'}{F_j'} \right)^{0,667} \frac{m_c + 1}{m_c + \frac{N}{N+1-j}} = \frac{N}{N+1-j},$$

откуда сила, действующая на единичный микровыступ j -го уровня,

$$F_j' = F_l' \left(\frac{(m_c + 1) \frac{N+1-j}{N}}{m_c + \frac{N}{N+1-j}} \right)^{1,5}. \quad (8)$$

Число микровыступов n_j на каждом уровне определим, приравняв фактическую площадь

контакта микровыступов и площадь, определяемую уравнением опорной поверхности, при одном и том же сближении.

Тогда

$$n_j = \frac{A_a b_k (\alpha_l / R)^v}{2\pi R \alpha_l N^{v-1}} [j^v - 2(j-1)^v + (j-2)^v], \quad (9)$$

где A_a – номинальная площадь контакта, b_k и v – параметры кривой опорной поверхности.

Подставляя (8), (9) и (10) в (1), получим

$$k = \frac{F_N}{F_M} = \frac{\sum_{j=1}^N n_j F_j'}{n F_I'} = \frac{1 + \left(\frac{m_c + 1}{N}\right)^{1,5} \sum_{j=2}^N [j^v - 2(j-1)^v + (j-2)^v] \cdot \left(\frac{N+1-j}{m_c + \frac{N}{N+1-j}}\right)^{1,5}}{N^{v-1}}.$$

На рисунке представлен график зависимости коэффициента силового подобия k от числа уровней N для различных значений параметров опорной поверхности v . Приведенные графики построены для случая равных твердостей контактирующих поверхностей. Как видно из рисунка, при числе уровней $N \geq 20$ коэффициент подобия существенно не изменяется, т. е.

$$k = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{F_N}{F_M} = \frac{F}{F_M} = \text{const.}$$

Зависимость силы F , действующей в реаль-

ном контакте, от сближения может быть представлена в виде:

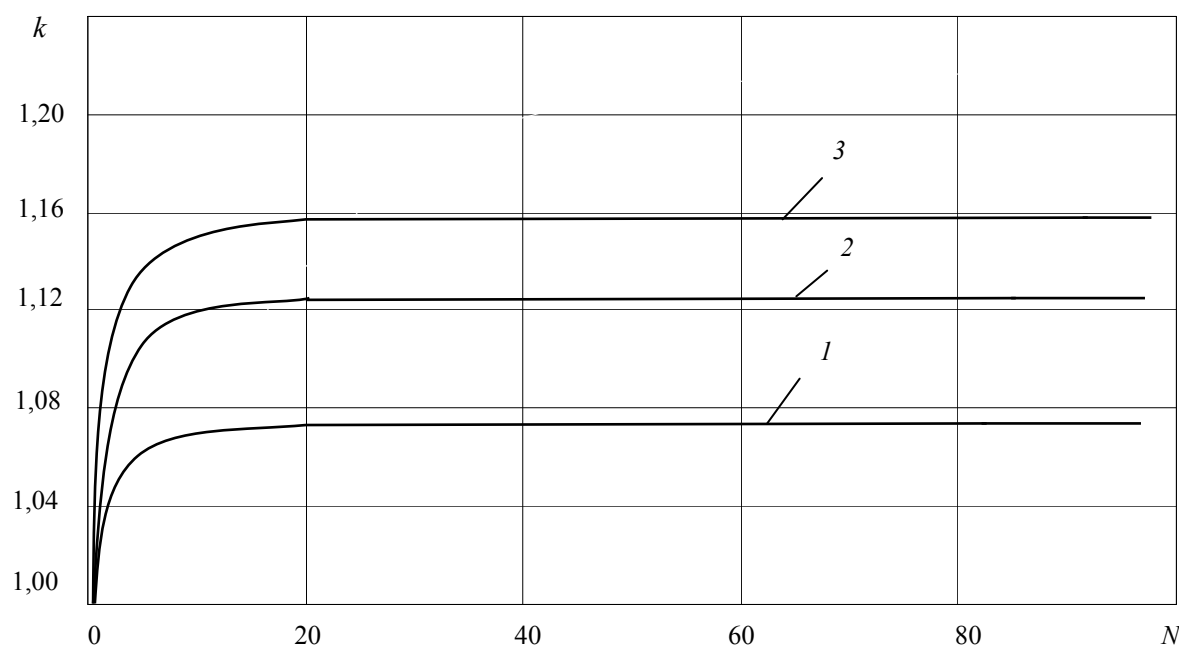
$$F = k F_M = k n F_I' = k \frac{A_a b_k (\alpha_l / R_{\max})^v}{2\pi R \alpha_l}, \quad (10)$$

где $R_{\max}$ – наибольшая высота микровыступов профиля.

откуда контактное сближение при упругопластическом контакте шероховатых поверхностей, обладающих равной твердостью,

$$F = k F_M = k n F_I' = k \frac{A_a b_k \alpha^{v+0,5} \text{НД}_{\text{пр}} R^{-0,5}}{0,559 R_{\max}^v} \quad (11)$$

$$\alpha = \left(\frac{0,559 F R_{\max}^v}{k A_a b_k \text{НД}_{\text{пр}} R^{-0,5}} \right)^{\frac{1}{v+0,5}}.$$



Графики зависимостей коэффициента силового подобия k от числа уровней N (для случая $\text{НД}_{\text{ш}}/\text{НД} = 1$):

1 – $v = 2$; 2 – $v = 3$; 3 – $v = 4$

Рассмотрим контакт шероховатой поверхности, полученной фрезерованием ($H_{Дш}=3680$ МПа, $R_a = 0,002$ мм, $R_{max} = 0,012$ мм, $R = 0,9$ мм) с гладкой поверхностью ($H_{Дг}=3680$ МПа) при действующей нагрузке $F = 20000$ Н. Приведенная твердость в этом случае

$$H_{Дпр} = \frac{1,5 \cdot 3680 \cdot 3680}{3680 + 3680} = 2760 \text{ МПа.}$$

Параметры уравнения начального участка кривой опорной поверхности составляют: $b_k=2$; $\nu = 2$ [1]. Номинальная площадь контакта $A_a = 60$ мм². Коэффициент силового подобия k в этом случае будет составлять $k = 1,076$. Подставляя имеющиеся данные в формулу (11), имеем

$$\alpha = \left(\frac{0,559 \cdot 20000 \cdot 0,012^2}{1,076 \cdot 60 \cdot 1,9 \cdot 2760 \cdot 0,9^{-0,5}} \right)^{\frac{1}{2+0,5}} = 0,0071 \text{ мм.}$$

Таким образом, полученные зависимости могут быть использованы для определения сближения в контакте шероховатых поверхностей одинаковой твердости в условиях упруго-пластического контакта, что позволяет автоматизировать процесс определения контактной жесткости деталей машин.

УДК 621.757:519.87

С. Г. Поступаева, И. Е. Грязнов

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

В статье рассмотрена нечеткая модель автоматического регулирования кондиционированием воздуха в помещении. Произведена содержательная постановка задачи на моделирование, построена база нечетких лингвистических правил, предложена реализация одного из основных этапов нечеткого вывода на языке CFC.

Ключевые слова: нечеткая логика, нечеткий вывод, лингвистические правила.

The article considers the fuzzy model of the automatic regulation of the air conditioner in the room. Made a meaningful statement of the problem on modeling, built the base of the fuzzy linguistical rules, realization of one of the main stages of indistinct output in language CFC.

Keywords: fuzzy logics, fuzzy output, linguistical rules.

Повышение эффективности управления является актуальной проблемой в условиях возрастающей сложности технологических процессов, оборудования и систем. В последние годы в системы автоматизации производственных процессов начали активно внедряться методы и технические средства, основанные на нечеткой логике [1]. Характерным для нечеткого управления является непосредственное применение сформулированных экспертных знаний для генерирования воздействий на объект управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М. : Машиностроение, 1981. – 244 с.
2. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
3. Матлин, М. М. Оценка влияния соотношения твердостей деталей на контактную жесткость / М. М. Матлин, А. И. Мозгунова, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин // Механика и физика процессов на поверхности в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования : межвуз. сб. науч. тр. ; вып. 6. – Тверь : ТГТУ. – 2013. – С. 14–18.
4. Пат. 2488806 РФ, МПК G01N3/42. Способ определения пластической твердости материала образца / М. М. Матлин, А. И. Мозгунова, С. Л. Лебский, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин ; ВолгГТУ. – 2013.
5. Матлин, М. М. Расчет сближения и фактической площади контакта плоских шероховатых поверхностей при близких твердостях их материалов / М. М. Матлин, Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 6(109) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении» ; вып. 7). – С. 82–84.

В качестве примера использования систем нечеткого вывода в задачах регулирования рассматривалась задача управления кондиционированием воздуха в помещении. Эта задача иллюстрирует процесс стабилизации температуры воздуха в помещении, в котором установлен бытовой кондиционер. В качестве алгоритма нечеткого вывода будет использоваться алгоритм Мамдани [2].

В помещении установлен бытовой кондиционер, который позволяет охлаждать или нагревать воздух в этом помещении. Наиболее

комфортные условия в помещении создаются при некоторой стабильной температуре воздуха. Поскольку температура окружающей среды вне помещения изменяется в течение суток и в большой степени зависит от внешних погодных условий, все это дестабилизирует температуру воздуха в помещении и приводит к необходимости ручной регулировки режима работы бытового кондиционера. Задача состоит в том, чтобы сделать регулировку кондиционера автоматической, обеспечивая постоянную температуру воздуха в помещении. Модель нечеткого регулирования кондиционированием воздуха в помещении приведена на рис. 1.

Опыт использования бытовых кондиционеров показывает, что процесс охлаждения или

нагрева воздуха в помещении обладает некоторой инерционностью. А именно, после включения режима «холод» происходит нагнетание холодного воздуха, в связи с чем температура воздуха в помещении постепенно падает. При этом в момент отключения этого режима температура продолжает падать в течение небольшого, но конечного промежутка времени. Аналогичная картина наблюдается при включении и отключении режима «тепло». Предположим, что в рассматриваемой модели кондиционера включение режима «холод» осуществляется поворотом регулятора влево, включение режима «тепло» осуществляется поворотом регулятора вправо относительно некоторой точки, в которой кондиционер выключен.

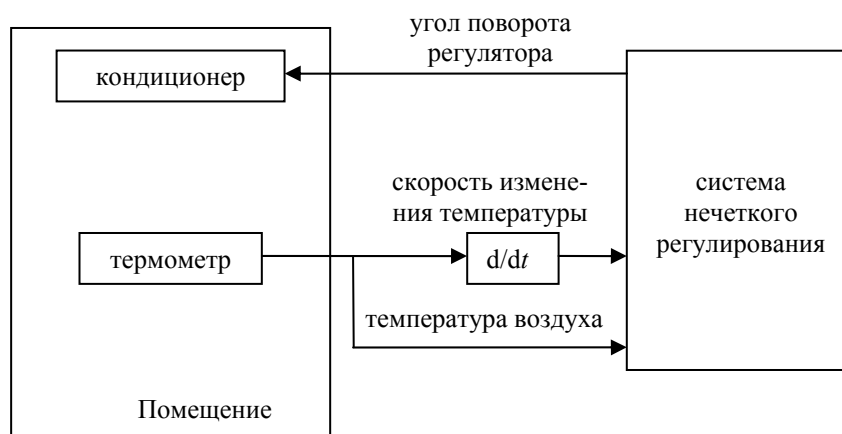


Рис. 1. Модель нечеткого регулирования кондиционированием воздуха в помещении

Чтобы учесть эту особенность процесса управления кондиционером и исключить дополнительные затраты, связанные с частым включением и выключением указанных режимов, необходимо рассматривать в качестве выходного параметра не только температуру воздуха в помещении, но и скорость ее изменения. В этом случае эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме эвристических правил, которые применяются в случае ручной регулировки температуры воздуха в помещении с кондиционером.

На основании ряда эвристических правил построим базу правил системы нечеткого вывода, которая позволяет реализовать данную модель нечеткого регулирования [3].

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода необходимо предварительно

определить входные и выходные лингвистические переменные. В качестве одной из входных лингвистических переменных используем температуру воздуха в помещении: β_1 – «температура воздуха», а в качестве второй входной лингвистической переменной β_2 – «скорость изменения температуры воздуха». В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать угол поворота регулятора включения режимов «холод» и «тепло» кондиционера: β_3 – «угол поворота регулятора». Для сокращения записи правил используются символические обозначения, рассмотренные в таблице, при этом модификатор ОЧЕНЬ преобразован к значению отдельного термина.

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечетких продукций следующего вида:

ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ « β_1 есть PB » И « β_2 есть PS », ТО « β_3 есть NB »,
 ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ « β_1 есть PB » И « β_2 есть NS », ТО « β_3 есть NS »,
 ПРАВИЛО_3: ЕСЛИ « β_1 есть PS » И « β_2 есть PS », ТО « β_3 есть NM »,
 ПРАВИЛО_4: ЕСЛИ « β_1 есть PS » И « β_2 есть NS », ТО « β_3 есть Z »,
 ПРАВИЛО_5: ЕСЛИ « β_1 есть NB » И « β_2 есть NS », ТО « β_3 есть PB »,
 ПРАВИЛО_6: ЕСЛИ « β_1 есть NB » И « β_2 есть PS », ТО « β_3 есть PS »,
 ПРАВИЛО_7: ЕСЛИ « β_1 есть NS » И « β_2 есть NS », ТО « β_3 есть PM »,
 ПРАВИЛО_8: ЕСЛИ « β_1 есть NS » И « β_2 есть PS », ТО « β_3 есть Z »,
 ПРАВИЛО_9: ЕСЛИ « β_1 есть PB » И « β_2 есть Z », ТО « β_3 есть NM »,
 ПРАВИЛО_10: ЕСЛИ « β_1 есть PS » И « β_2 есть Z », ТО « β_3 есть NS »,
 ПРАВИЛО_11: ЕСЛИ « β_1 есть NB » И « β_2 есть Z », ТО « β_3 есть PM »,
 ПРАВИЛО_12: ЕСЛИ « β_1 есть NS » И « β_2 есть Z », ТО « β_3 есть PS »,
 ПРАВИЛО_13: ЕСЛИ « β_1 есть Z » И « β_2 есть PS », ТО « β_3 есть NS »,
 ПРАВИЛО_14: ЕСЛИ « β_1 есть Z » И « β_2 есть NS », ТО « β_3 есть PS »,
 ПРАВИЛО_15: ЕСЛИ « β_1 есть Z » И « β_2 есть Z », ТО « β_3 есть Z ».

По результатам построенной базы нечетких лингвистических правил была осуществлена фазификация входных переменных с их полным графическим представлением.

Общепринятые сокращения для значений основных термов лингвистических переменных в системах нечеткого вывода

Символическое обозначение	Англоязычная нотация	Русскоязычная нотация
NB	Negative Big	Отрицательное большое
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
NS	Negative Small	Отрицательное малое
ZN	Zero Negative	Отрицательное близкое к нулю
Z	Zero	Нуль, близкое к нулю
ZP	Zero Positive	Положительное близкое к нулю
PS	Positive Small	Положительное малое
PM	Positive Middle	Положительное среднее
PB	Positive Big	Положительное большое

В качестве термножества первой лингвистической переменной используется множество $T_1 = \{\text{«очень холодная»}, \text{«холодная»}, \text{«в пределах$

нормы», «теплая», «очень теплая»}\} или в символическом виде $T_1 = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рис. 2.

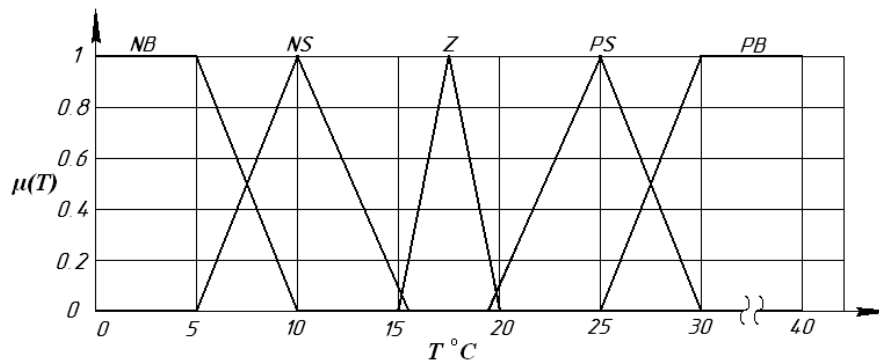


Рис. 2. Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «температура воздуха»

В качестве термножества второй лингвистической переменной используется множество $T_2 = \{\text{«отрицательная», «равна нулю», «положи-$

тельная»\} или в символическом виде $T_2 = \{NS, Z, PS\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рис. 3.

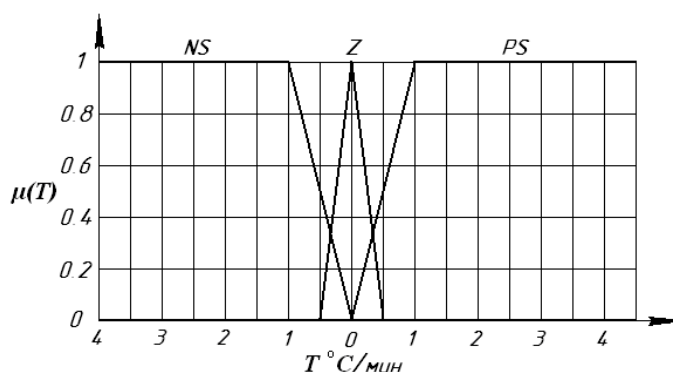


Рис. 3. Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «скорость изменения температуры»

В качестве термножества выходной лингвистической переменной используется множество $T_3 = \{\text{«очень большой угол влево», «большой угол влево», «небольшой угол влево», «выключить кондиционер», «небольшой угол$

вправо», «большой угол вправо», «очень большой угол вправо»\} или в символическом виде $T_3 = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рис. 4.

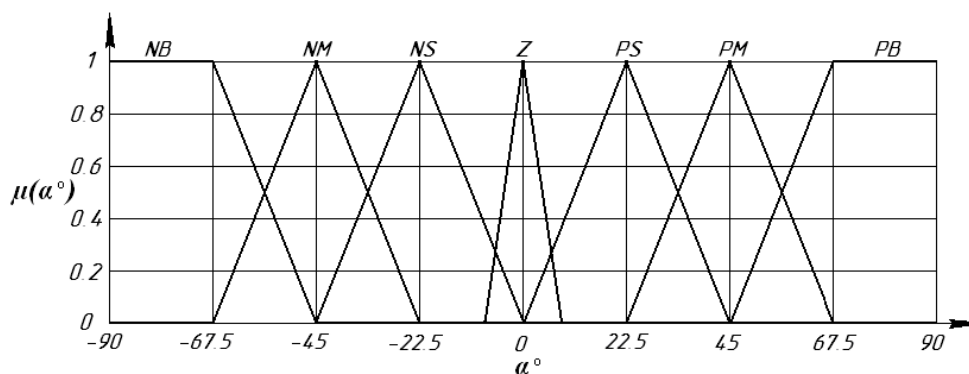


Рис. 4. Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «угол поворота регулятора»

На рис. 5 приводится частичная реализация системы регулирования кондиционером воздуха на языке *CFC*, в основе которой лежит механизм нечеткого вывода Мамдани. Фаззификация производится посредством функциональных блоков *Array3*. В соответствии с четким значением регулируемой величины (температуры воздуха) и скорости ее изменения производится расчет соответствующих уровней отсечения. Последние используются для активизации каждого из подзаключений, в результате

чего создаются массивы точек фаззифицированного регулирующего воздействия по каждому правилу. Активизированные подзаключения объединяются по методу максимума в ряде функциональных блоков *Mass*. Нечеткое подмножество заключения приводится к четкости в функциональном блоке *FM* по методу первого максимума. Это позволит стабилизировать температуру воздуха в помещении, в котором установлен бытовой кондиционер в автоматическом режиме.

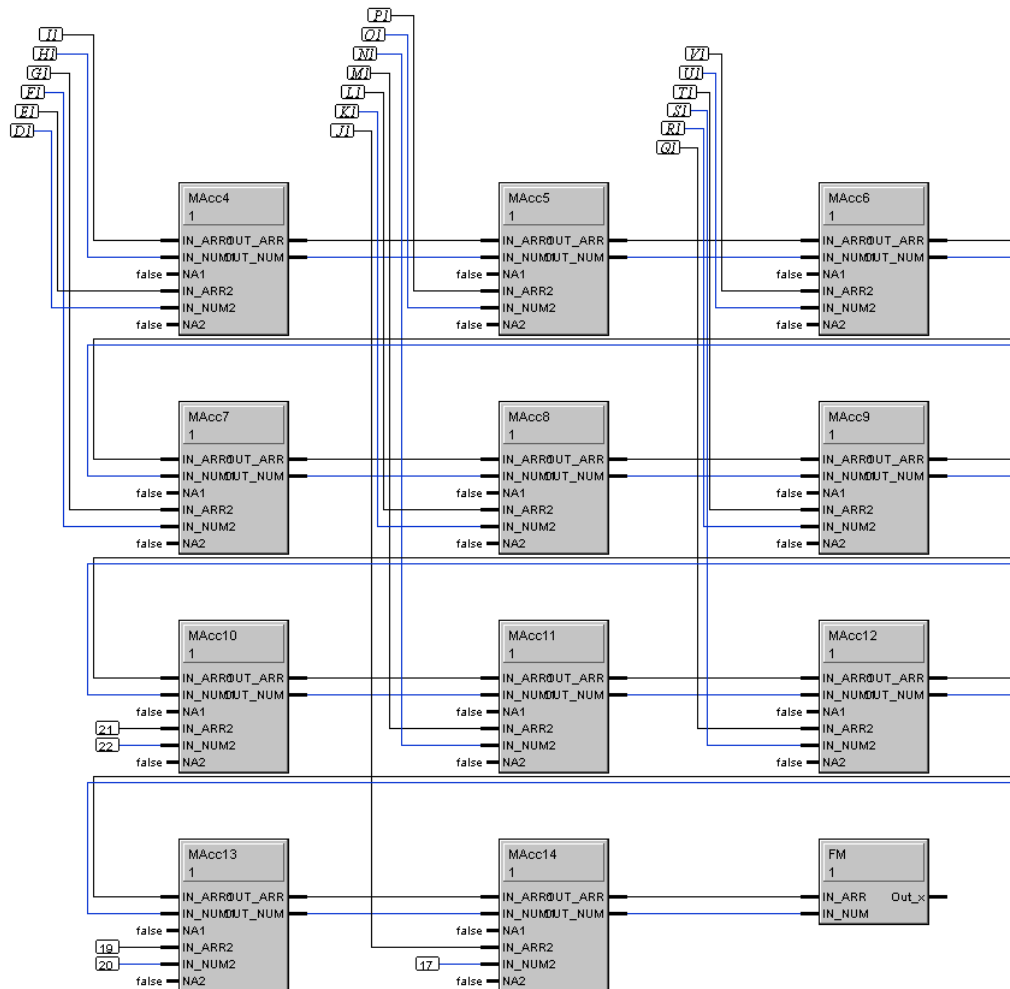


Рис. 5. Фрагмент программы по регулированию кондиционером воздуха на языке CFC

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поступаева, С. Г. Работа САУ, основанных на традиционных и нетрадиционных методах настройки регулятора / С. Г. Поступаева, И. Е. Грязнов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 20(123) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 10). – С. 117–121.
2. Рогозин, О. В. Метод нечеткого вывода решения в задаче подбора программного обеспечения на основе качественных характеристик этого обеспечения как объекта инвестиций / О. В. Рогозин // Приборы, методы и технологии. – 2009. – № 3. – С. 43–49.
3. Болдырев, М. В. Решение задач с применением нечеткой логики / М. Болдырев. – http://www.tora-centre.ru/library/fuzzy/fuzi_i.htm

УДК 621.311

Л. Д. Суров, И. Л. Суров, В. В. Филиппов

ЗАПРЕТ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ВВОДНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ШИН ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Орловский государственный аграрный университет

E-mail: vadim233065@rambler.ru

Описаны упрощенная схема двухтрансформаторной подстанции и диаграммы выходных сигналов структурной схемы способа запрета автоматического повторного включения вводных выключателей шин с определением поврежденного участка, смежного с секционным выключателем.

Ключевые слова: автоматическое повторное включение, короткое замыкание, секционный выключатель, трансформатор, датчик тока короткого замыкания, регистрирующее устройство.

Described two-transformer substation simplified schematic diagram and the output signals of the block diagram method disable automatic re-input switches off the tires with the definition of the damaged area, adjacent to the section switch.

Keywords: automatic reclosing, short circuit, bus tie breaker, transformer, sensor short circuit current recording device.

Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, как правило, осуществляется от районных двухтрансформаторных подстанций с двухсторонним питанием. При этом в нормальном режиме работы каждый из трансформаторов осуществляет питание только тех потребителей линии электропередач, которые подсоединены к его секции шин. Однако в целях повышения надежности электроснабжения потребителей при плановом или аварийном отключениях одного из трансформаторов отдельные секции шин этих трансформаторов соединяют секционным выключателем. В этом случае схема переходит в режим подстанционного резервирования и питание всех потребителей осуществляется от одного трансформатора. В нормальном режиме работы подстанции секционный выключатель выключен и через смежные участки, прилегающие к нему, ток не течет. Однако возникновение аварийных ситуаций на смежных участках шин, связанных с короткими замыканиями (КЗ), не исключено как при работе подстанции по нормальной схеме, так и при подстанционном резервировании [1]. С целью получения информации о повреж-

дении смежного с секционным выключателем участка шин и введения запрета на автоматическое повторное включение (АПВ) вводного выключателя шин разработан способ [2].

Согласно этому способу, на участках шин, смежных с секционным выключателем, ведут контроль тока КЗ и при его появлении со стороны первого трансформатора начинают отсчет времени выдержки срабатывания защиты вводного выключателя первой секции шин. Если в момент окончания времени этой выдержки ток КЗ исчезнет, то устанавливают факт КЗ на смежном с секционным выключателем участке шин, питающихся от первого трансформатора, и вводят запрет на АПВ вводного выключателя первой секции шин. Если бросок тока КЗ появится со стороны второго трансформатора, то с момента его появления начинают отсчет времени выдержки срабатывания защиты вводного выключателя второй секции шин. Если в момент окончания времени этой выдержки ток КЗ исчезнет, то устанавливают факт КЗ на смежном с секционным выключателем участке шин, питающихся от второго трансформатора, и вводят запрет на АПВ вводного выключателя второй секции шин.

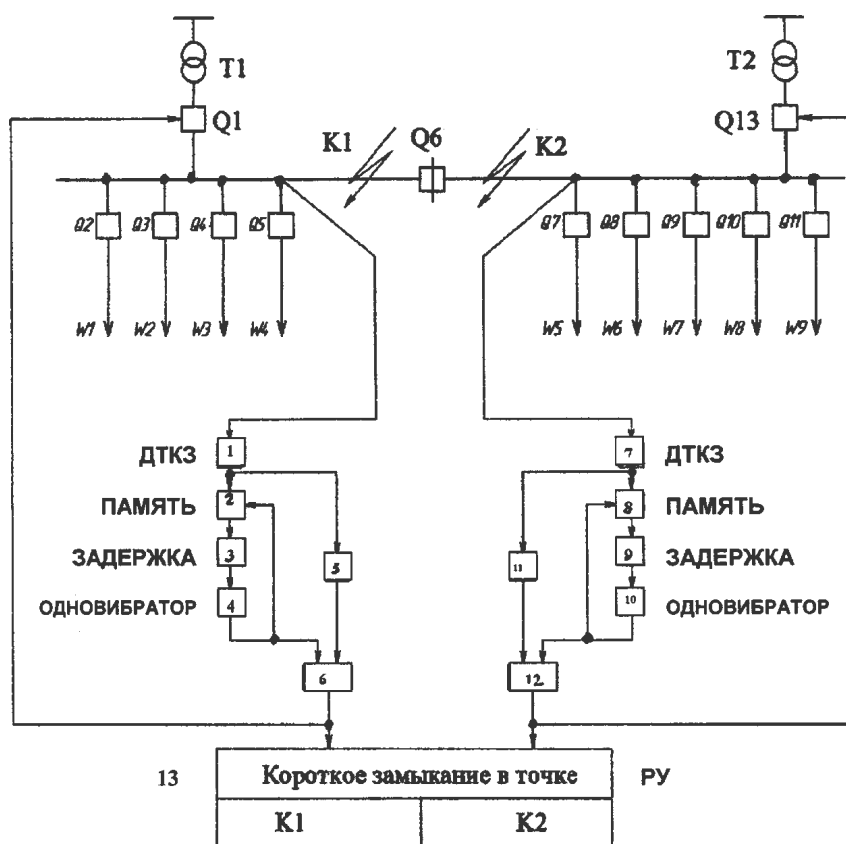


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема двухтрансформаторной подстанции и структурная схема:
Q1 и Q2 – выключатели на стороне низкого напряжения силовых трансформаторов T1 и T2;
Q2-Q6 и Q7-Q11 – головные выключатели линий W1-W9; Q6 – секционный выключатель шин; K1 и K2 – точки КЗ

Для реализации такого способа разработана структурная схема, изображенная на рис. 1.

Она состоит из датчиков тока короткого замыкания (ДТКЗ) 1 и 7, элементов: ПАМЯТЬ 2 и 8; ЗАДЕРЖКА 3 и 9; ОДНОВИБРАТОР 4 и 10; НЕ 5 и 11; И 6 и 12 и регистрирующего устройства (РУ) 13. На рис. 2 изображены диа-

граммы выходных сигналов элементов структурной схемы, где t_1 – момент времени возникновения КЗ в точке К1; t_2 – момент времени отключения тока КЗ, возникшего в точке К1; t_3 – момент времени возникновения КЗ в точке К2; t_4 – момент времени отключения тока КЗ, возникшего в точке К2.

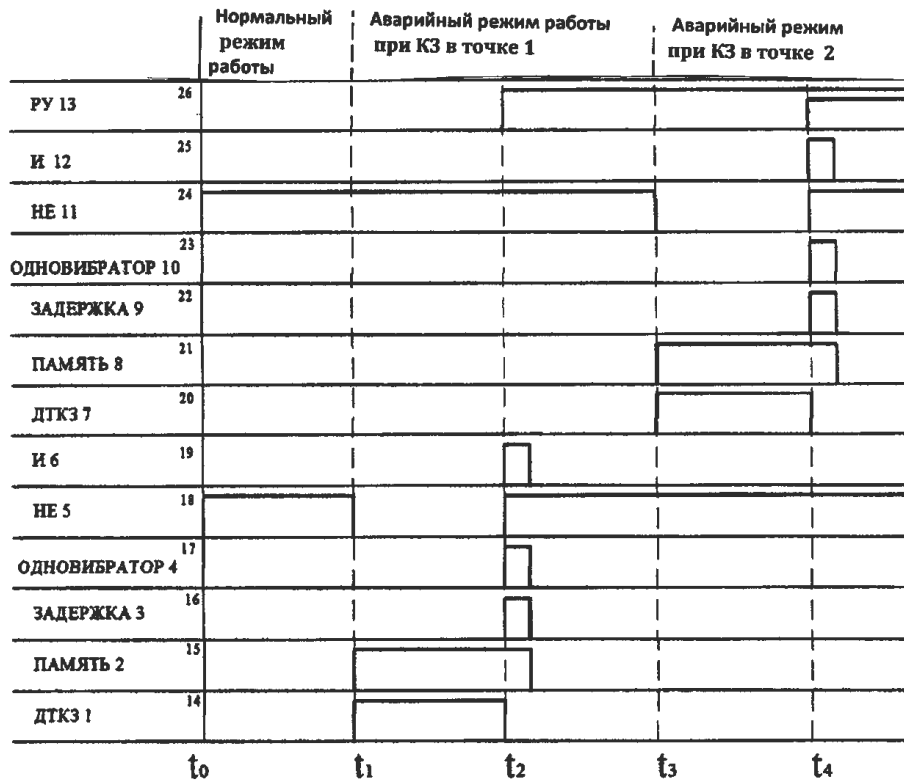


Рис. 2. Диаграмма выходных сигналов элементов структурной схемы

Работа этой схемы осуществляется следующим образом. В нормальном режиме работы сети выключатели Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11 и Q13 включены, а выключатель Q6 отключен. КЗ на участках шин, смежных с сакционным выключателем Q6 нет, поэтому сигналов на выходах ДТКЗ 1 и 7 нет, и схема находится в режиме контроля. При возникновении устойчивого КЗ в точке К1 на выходе ДТКЗ 1 появится сигнал (рис. 2, диагр. 14, момент времени t_1). Он поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 2, запомнится им (рис. 2, диагр. 15) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 3. В этом элементе сигнал задержится на время, равное времени выдержки срабатывания защиты вводного выключателя Q1 первой секции шин. Выйдя из элемента ЗАДЕРЖКА 3, сигнал (рис. 2, диагр. 16, момент времени t_2) поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 4. Он совершит одно колебание (рис. 2, диагр. 17)

и своим сигналом «сбросит» память с элемента 2, и поступит на первый вход элемента И 6. В этот момент времени вводной выключатель Q1 первой секции шин отключит ток КЗ, при этом выходной сигнал с ДТКЗ 1 исчезнет (рис. 2, момент времени t_2), а исчезнувший выходной сигнал с элемента НЕ 5 в момент времени t_1 вновь появится (рис. 2, диагр. 18) и поступит на второй вход элемента И 6 и обеспечит срабатывание этого элемента (рис. 2, диагр. 19). Этот сигнал поступив в РУ 13, обеспечит появление в нем информации о том, что КЗ возникло в точке К1 (рис. 2, диагр. 26). Одновременно этот сигнал поступит на вводной выключатель первой секции шин Q1 и обеспечит запрет на АПВ этого выключателя.

Возникновение КЗ не в точке К1, а в точке К2 приведет к тому, что на выходе ДТКЗ 7 появится сигнал (рис. 2 диагр. 20, момент времени t_3). Он поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 8, за-

помниться им (рис. 2, диагр. 21) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 9. В этом элементе сигнал задержится на время, равное времени выдержки срабатывания защиты вводного выключателя Q13 второй секции шин. Выйдя из элемента ЗАДЕРЖКА 9 сигнал (рис. 2, диагр. 22, момент времени t_4) поступит на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 10. Он совершит одно колебание (рис. 2, диагр. 23) и своим сигналом «сбросит» память с элемента 8, и поступит на второй вход элемента И12. В этот момент времени вводной выключатель Q13 второй секции шин отключит ток КЗ, при этом выходной сигнал с ДТКЗ 7 исчезнет (рис. 2, момент времени t_4), а исчезнувший выходной сигнал с элемента НЕ 11 в момент времени t_4 вновь появится (рис. 2, диагр. 24) и поступит на первый вход элемента И 12, и обеспечит срабатывание этого элемента (рис. 2, диагр. 25). Этот сигнал поступив в РУ 13, обеспечит появление в нем информации о том,

что КЗ возникло в точке К2 (рис. 2, диагр. 26). Одновременно этот сигнал поступит на вводной выключатель второй секции шин Q13 и обеспечит запрет на АПВ этого выключателя.

Таким образом, при использовании этого способа можно получать информацию о возникновении КЗ на смежных с секционным выключателем участках шин двухтрансформаторной подстанции и вводить запрет на АПВ вводных выключателей этих шин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов : учеб. пособие / Е. А. Конюхова. – М. : Издательство «Мастерство», 2002. – 320 с.
2. Патент № 2447567 кл. НО2J 13/00 опубл. 10.04.2012, бюл. № 10. Способ запрета автоматического повторного выключения вводных выключателей шин, с определением поврежденного участка, смежного с секционным выключателем / Л. Д. Суров, И. Л. Суров, В. В. Филиппов; заявитель и патентообладатель Орловский государственный аграрный университет; заявл. 12.05.2011; опубл. 10.04.2012.

УДК 621.311

Л. Д. Суров, В. В. Филиппов

КОНТРОЛЬ ОТКЛЮЧЕНИЯ И ОТКАЗА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ГОЛОВНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ЛИНИИ

Орловский государственный аграрный университет

E-mail: vadim233065@rambler.ru

Описан способ контроля отключения и отказа автоматического повторного включения головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию при неустойчивом коротком замыкании, разработана структурная схема и описана ее работа с изображением выходных сигналов.

Ключевые слова: короткое замыкание, головной выключатель, автоматическое повторное включение, зондирующий импульс, датчик напряжения, регулирующее устройство.

Discloses a method for controlling opening and re-enable the automatic refusal of the head switch the line supplying the transformer substation, with instability short circuit, the structural scheme and described her work with the image of the output signals.

Keywords: short circuit, head switch, automatic reclosing, the probe pulse, a voltage sensor control device.

При возникновении короткого замыкания (КЗ) токи в ветвях системы резко увеличиваются и вызывают электродинамическое воздействие на электрооборудование. При длительном прохождении, более 0,01 с., токи КЗ оказывают термическое действие, которое приводит к значительному повышению температуры нагрева электрооборудования и, как следствие, к выходу из строя элементов электрической сети [1]. Одним из способов повышения надежности электроснабжения является применение повторных включений отключившихся под действием тока КЗ выключателей, которые осуществляются автоматически. Автоматические по-

вторные включения (АПВ) могут быть однократного действия или многократного (двух-трехкратного). Обоснованность применения таких устройств объясняется возможностью самоустранения неустойчивых КЗ, когда за время бестоковой паузы дуга тока КЗ гаснет и электроснабжение восстанавливается. Это возможно при схлестывании проводов, замыканиях через ветви деревьев и т. п.

Однако изношенность оборудования, несвоевременное проведение регламентных работ по техническому обслуживанию могут приводить к отказу устройств АПВ, когда линия отключается и повторно не включается.

С целью получения информации об отключении и отказе АПВ головного выключателя (ГВ) линии, питающей трансформаторную подстанцию, при неустойчивом коротком замыкании разработан способ контроля [2].

Согласно этому способу, с момента исчезновения напряжения на трансформаторе начинают отсчет времени выдержки АПВ ГВ. При этом в линию посылают зондирующий импульс, измеряют время, за которое он дойдет до точки отражения, вычисляют расстояние до этой точки и сравнивают его с расстоянием до ГВ. Если вычисленное расстояние равно расстоянию до ГВ, то делают вывод о его отключении. После окончания отсчета времени и при

отсутствии напряжения на трансформаторе в линию снова посылают зондирующий импульс. Измеряют время, за которое он дойдет до точки отражения, вычисляют расстояние до этой точки и сравнивают его с расстоянием до ГВ. Если вычисленное расстояние равно расстоянию до ГВ, то делают вывод об отказе АПВ ГВ линии, питающей трансформаторную подстанцию. Реализация такого способа контроля поясняется с помощью рисунков, где на рис. 1 представлена структурная схема, содержащая элементы для реализации способа; на рис. 2 – диаграммы выхода сигналов элементов, показанных на рис. 1, при отключении и отказе АПВ головного выключателя 1 при КЗ в точке 2.

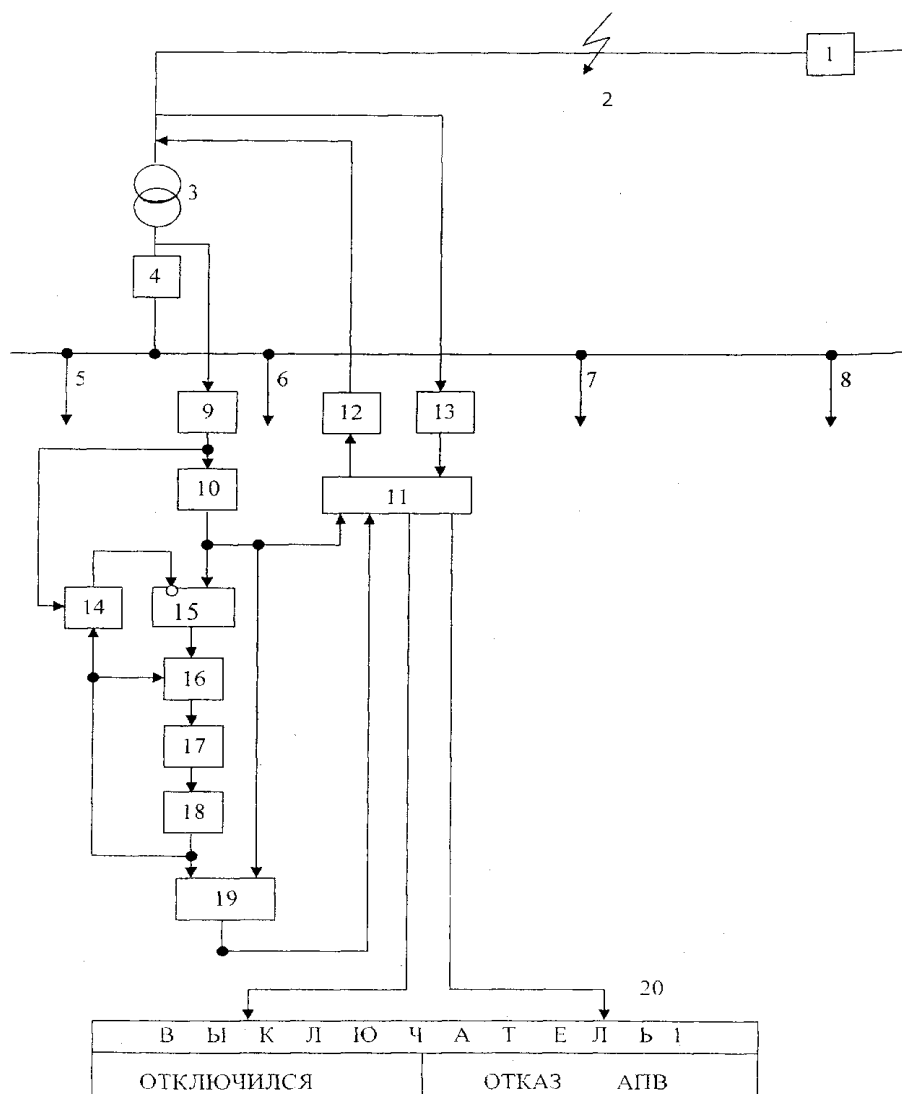


Рис. 1. Упрощенная схема трансформаторной подстанции и структурная схема способа

Схема, изображенная на рис. 1 содержит: головной выключатель 1, точку КЗ 2, трансформатор силовой 3, вводной выключатель

шин подстанции 4, отходящие от шин линии 5, 6, 7 и 8, датчик напряжения (ДН) 9, элемент НЕ 10, блок обработки информации (БОИ) 11, ге-

нератор зондирующих импульсов (ГЗИ) 12, приемник зондирующих импульсов (ПЗИ) 13, элементы: ПАМЯТЬ 14, ЗАПРЕТ 15, ПАМЯТЬ 16, ЗАДЕРЖКА 17, ОДНОВИБРАТОР 18, И 19, регистрирующее устройство (РУ) 20.

Диаграммы сигналов на выходах элементов, показаны на рис. 2, при КЗ в точке 2, имеют вид:

21 – на выходе элемента 9; 22 – на выходе элемента 10; 23 – на выходе элемента 11; 24 – на выходе элемента 12; 25 – на выходе элемента 13; 26 – на выходе элемента 14; 27 – на выходе элемента 15; 28 – на выходе элемента 16; 29 – на выходе элемента 17; 30 – на выходе элемента 18; 31 – на выходе элемента 19; 32 – в РУ 20.

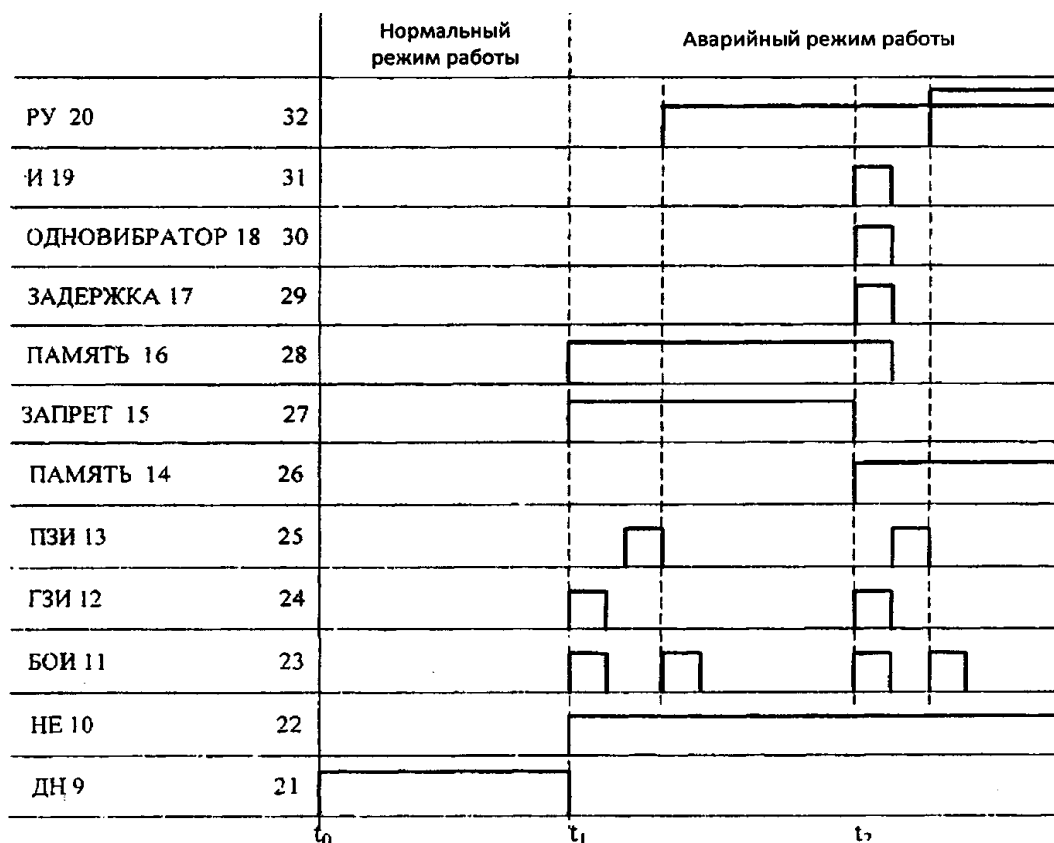


Рис. 2. Диаграмма выходных сигналов структурной схемы

На рис. 2 также показаны: t_1 – момент времени отключения ГВ 1, t_2 – момент окончания времени выдержки АПВ ГВ 1.

В нормальном режиме работы сети на выходе ДН 9 есть сигнал (рис. 2, диагр. 21), поэтому на выходе элемента НЕ 10 сигнала нет (рис. 2, диагр. 22) и схема находится в режиме контроля.

При возникновении КЗ, например, в точке 2 (см. рис. 1) и последующим за этим отключением ГВ 1 выходной сигнал ДН 9 исчезнет (рис. 2, диагр. 21, момент времени t_1) при этом на выходе элемента НЕ 10 появится сигнал (рис. 2, диагр. 22). Этот сигнал поступит в БОИ 11, и с его выхода в ГЗИ 12 пойдет сигнал (рис. 2, диагр. 23), который обеспечит посылку зондирующего импульса в линию (рис. 2, диагр. 24). Импульс, дойдя до точки отражения, вернется обратно и поступит в ПЗИ 13, а с его выхода (рис. 2, диагр. 25)

поступит в БОИ 11. Данный элемент определит время прохождения импульса до точки отражения, вычислит расстояние до этой точки и сравнит его с расстоянием до ГВ 1 и, если вычисленное расстояние будет больше, чем расстояние до ГВ 1, то с выхода БОИ 11 в РУ 20 пойдет сигнал (рис. 2, диагр. 23), который обеспечит появление в нем информации об отключении ГВ 1 (рис. 2, диагр. 32).

Сигнал с элемента НЕ 10 также поступит на элемент ЗАПРЕТ 15 и с его выхода (рис. 2, диагр. 27) на элемент ПАМЯТЬ 16, запомнится им (рис. 2, диагр. 28) и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 17. С выхода этого элемента сигнал появится через время выдержки АПВ ГВ 1 и поступит (рис. 2, диагр. 29) на вход элемента ОДНОВИБРАТОР 18. Он произведет одно колебание (рис. 2, диагр. 30), этот сигнал «сбросит» память с элемента 16 (рис. 2, диагр. 28),

поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 14, запомнится им (рис. 2, диагр. 26), поступит на запрещающий вход элемента ЗАПРЕТ 15 и предотвратит повторное поступление сигнала на элемент ПАМЯТЬ 16. «Сброс» памяти с элемента 14 и «снятие» запрета с элемента 15 произойдет после появления напряжения на трансформаторе 3. Также сигнал с элемента 18 поступит на первый вход элемента И 19. В момент окончания времени выдержки АВП ГВ 1 он должен включиться, однако по какой-либо причине это не произойдет и напряжение на трансформаторе не появится, поэтому на выходе элемента НЕ 10 будет существовать сигнал (рис. 2, диаг. 22, момент времени t_2), который будет присутствовать на втором входе элемента И 19. Он сработает, и его выходной сигнал (рис. 2, диагр. 31) поступит в БОИ 11. При этом с выхода этого элемента (рис. 2, диагр. 23, момент времени t_2) в ГЗИ 12 поступит сигнал, который обеспечит посылку зондирующего импульса в линию (рис. 2, диагр. 24). Импульс, дойдя до точки отражения, вернется обратно и поступит в ПЗИ 13, а с его выхода (рис. 2, диагр. 25) поступит в БОИ 11. Этот элемент опре-

делит время прохождения зондирующим импульсом расстояния до точки отражения, вычислит расстояние до этой точки и сравнит его с расстоянием до ГВ 1. Если вычисленное расстояние будет снова равно расстоянию до ГВ 1, то с выхода БОИ 11 пойдет сигнал (рис. 2, диагр. 23), который поступит в РУ 20 и там появится информация об отказе АПВ ГВ 1 (рис. 2, диагр. 32).

Таким образом, предлагаемый способ позволяет получать информацию об отключении и отказе АПВ головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию, при неустойчивом КЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов, Н. В. Электроника объектов/ Н. В. Белов ; учеб. пособие. – СПб. : Издательство «Лань», 2012. – 432 с.
2. Патент РФ № 2903108, кл. НО2Н 3/04, опублик. 27.12.2013, бюл. № 36. Способ контроля отключения и отката автоматического повторного включения головного выключателя линии, питающей трансформаторную подстанцию, при неустойчивом коротком замыкании / Л. Д. Суоров, В. В. Филиппов; заявитель и патентообладатель Орловский государственный аграрный университет; заявл. 21.01.2013; опубл. 27.12.2013.

УДК 621.9.001.63

К. Т. Чан, А. Д. Измайлов, М. Г. Кристал

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ В ЩЕЛЕВЫХ ВИБРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: cysmar@mail.ru

Обработка компьютерного моделирования процесса автоматического ориентирования стержневых деталей в щелевых вибрационных устройствах с использованием пакета Solid Works 2010.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, вибрационные устройства, автоматическое ориентирование.

Computer simulation process automatic orientation of rob's details in slit-vibrating devices using package solid works 2010.

Keywords: computer simulation, vibration devices, automatic orientation.

Проектирование ориентирующих устройств представляет собой сложную техническую задачу. Ее решение предполагает большой объем экспериментальной наладки этих устройств для обеспечения надежности процесса ориентирования. Наиболее разработанными являются ориентирующие механизмы, реализованные в вибрационных бункерно-ориентирующих устройствах. Однако на их функционирование накладывает свой отпечаток динамика процесса, зависящая от скорости транспортного пере-

мещения деталей их инерционных свойств. Поэтому для минимизации трудоемкости экспериментально-наладочных работ по внедрению средств вибрационного ориентирования деталей целесообразно использовать компьютерное моделирование этого процесса.

Для примера рассмотрим компьютерное моделирование процесса активного ориентирования стержневых ступенчатых деталей в щелевых вибрационных ориентирующих устройствах. Принцип такого процесса (рис. 1) заклю-

чается в различии поворота детали при движении ее вперед торцом большего или меньшего диаметра. При движении вперед торцом большего диаметра деталь не доходит до ориентирующего упора 1, и за счет смещения центра тяжести относительно кромки 2 поворачивается и продолжает движение в исходном положении (торцом большего диаметра вперед). При этом противоположный торец меньшего диаметра проходит через щель трубчатого лотка. В случае противоположного положения детали (торцом меньшего диаметра вперед) последний, доходит до ориентирующего упора 1, задерживается на нем, и за счет смещенного центра тяжести разворачивается торцом большего диаметра вперед [1].

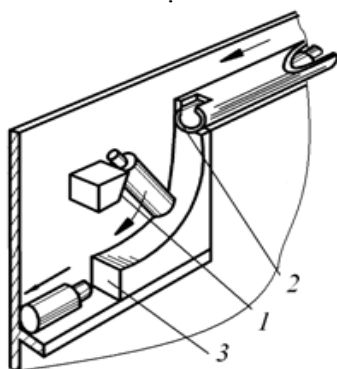


Рис. 1. Ориентирование стержневых ступенчатых деталей в щелевых устройствах:
1 – упор; 2 – кромка окна; 3 – порог сброса лишних деталей

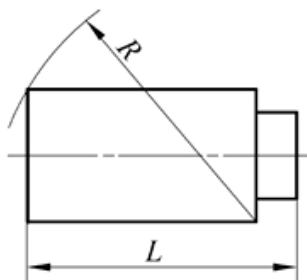


Рис. 2. Величина R разности размеров крайних уступов ориентирующего устройства

В конструкциях устройств ориентирования должна быть предусмотрена регулировка положения упора в двух плоскостях: горизонтальной и вертикальной. Для надежной работы таких устройств необходимо предотвращать накопление деталей в щели, предусматривая в конструкции соответствующие элементы – пороги 3 (рис. 1) [1].

Ориентирование детали по разности R размеров крайних уступов (рис. 2) возможно, если удовлетворяется условие [1]:

$$1 - \frac{R + 0,3}{L} \geq \frac{Q}{60} \left(0,028 + \frac{1}{\pi \nu K_v} \right),$$

где L – длина детали; R – максимальное расстояние от точки поворота детали до ориентирующего уступа; Q – заданная производительность устройства, шт./мин; ν – частота колебания чаши, Гц; K_v – коэффициент скорости вибропривода.

С использованием пакета «Solid Works 2010» [2] созданы компьютерные модели, описывающие процесс автоматического ориентирования ступенчатых стержневых деталей в щелевых устройствах.

Решены следующие задачи: разработаны компьютерные модели; смоделирован процесс ориентирования деталей и исследован процесс автоматического ориентирования стержневых деталей.

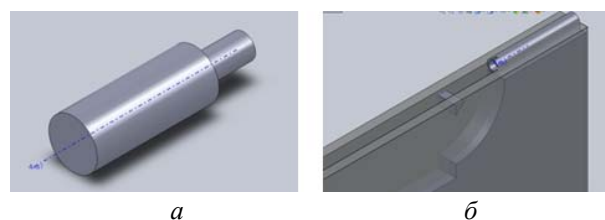


Рис. 3. Компьютерные модели:
а – стержневой ступенчатой детали; б – щелевое ориентирующее устройство

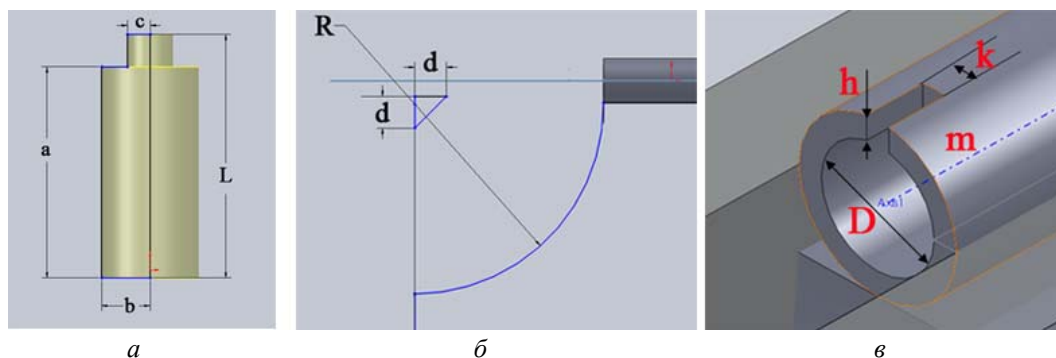


Рис. 4. Эскизы:
а – эскиз детали; б – устройство ориентирования; в – трубчатый лоток

Деталь движется в трубчатом лотке при условии: $D > 2a$.

Относительная величина зазора Δ_a между диаметрами детали и трубчатого лотка:

$$\Delta_a = \frac{D - 2a}{a} \text{ и } 0 < \Delta_a < \Delta_{a_доступ}$$

Аналогично для щели получим:

$$0 < \Delta_m < \Delta_{m_доступ},$$

где Δ_m – относительная разность между длинами меньшего цилиндра детали и щелки трубки:

$$\Delta_m = \frac{m - (L - a)}{L - a} \text{ и } 0 < \Delta_k < \Delta_{k_доступ},$$

где Δ_k – относительный зазор между диаметром меньшего цилиндра детали и шириной щели трубчатого лотка: $\Delta_k = \frac{D - 2c}{c}$.

Деталь опрокидывается в щель с условиями:

$$R - d > a; R - d < L \text{ и } R = L(1 + \Delta_L),$$

где Δ_L – относительная разность: $\Delta_L = \frac{R - L}{L}$.

Тогда для параметров щелевых ориентирующих устройств получим:

$$R = L(1 + \Delta_L); D = 2a(1 + \Delta_a);$$

$$m = (L - a)(1 + \Delta_m); k = 2c(1 + \Delta_k)$$

$$\text{и } d = L\Delta_L + \frac{L - a}{2}.$$

Для таких зависимостей создана модель щелевого ориентирующего устройства и смоделирован процесс автоматического ориентирования стержневых ступенчатых деталей в них (рис. 5).

По результатам моделирования модели получены условия удовлетворенности заданных размеров детали (отображены в таблице). Полученные данные о влиянии размеров деталей и устройств на процесс ориентирования были проверены опытным путем.

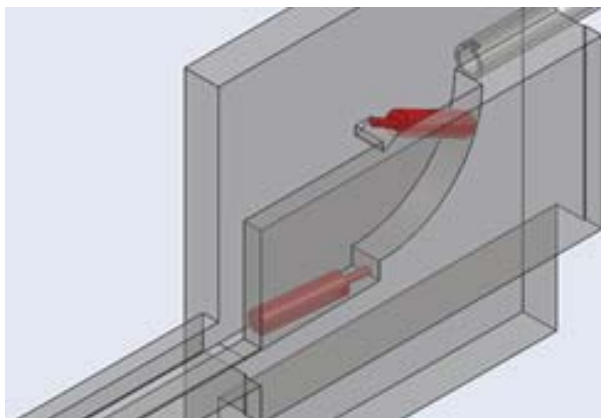


Рис. 5. Моделирование процесса автоматического ориентирования стержневых деталей в щелевых устройствах

Допустимые величины относительных разностей

Относительный зазор	Допустимая величина
Δ_L	0,06
Δ_a	0,03
Δ_k	0,03
Δ_m	0,08

Следует отметить, что процесс ориентирования зависит не только от размеров деталей и ориентирующего устройства, а еще от скорости вибротранспортирования деталей, степени стохастичности потока деталей при их перемещении, материалов поверхностей ориентируемых деталей и устройств ориентирования (трение между поверхностями деталей и элементов ориентирования) и других. Влияние таких параметров на процесс также может быть исследовано методами моделирования с использованием пакета Solid Works 2010.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кристаль, М. Г. Курсовое проектирование средств автоматизации технологического оборудования (Вибрационные бункерные загрузочные устройства) : учеб. пособие / М. Г. Кристаль. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 132 с.
2. SolidWorks Education Edition, Контракт № 2011-180-3 от 18 июля 2011 г.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
Волгоградского государственного технического университета
№ 8(135), 2014 г.

С е р и я «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»
(Выпуск 11)

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Н. Н. Кваша*
Компьютерная верстка *Е. В. Макаровой*

Темплан 2014 г. Поз. № 18н.
Подписано в печать 26.05.2014. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 11,61.
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.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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. Редколлегия 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*, *б*, 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.