The background of the cover is a photograph of an industrial manufacturing environment. It features several robotic arms, likely used for welding or assembly, with bright sparks and light trails emanating from their joints and ends. The scene is lit with a warm, orange-red glow, typical of a factory floor. The overall composition is dynamic and emphasizes the complexity and scale of modern machinery.

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Материалы  
I Международной  
научно-технической  
конференции**

**Владимир  
15-17 мая 2001 г.**

**Министерство образования Российской Федерации  
Московский государственный технологический университет «Станкин»  
Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана  
Рыбинская государственная авиационная технологическая академия  
Донецкий государственный технический университет  
Варшавский международный центр биокибернетики  
Владимирский государственный университет**

## ***Актуальные проблемы машиностроения***

**Материалы I Международной научно-технической конференции**

**15 – 17 мая 2001 г.**

**г. Владимир**

*Под общей редакцией В.В. Морозова*

**Владимир 2001**

УДК 621:65.015

А 43

Редакционная коллегия:

**В.В. Морозов**, ответственный редактор д-р техн. наук, профессор

**В.А. Кечин**, д-р техн. наук, профессор

**В.Ф. Коростелев**, д-р техн. наук, профессор

**Е.А. Новикова**, канд. техн. наук, доцент

**А.Б. Костерин**, секретарь ред. коллегии

Печатается по решению редакционно-издательского совета Владимирского государственного университета

**А43 Актуальные проблемы машиностроения: Материалы I Междунар. науч.-техн. конф. / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2001. 282 с. ISBN 5-89368-240-8**

Публикуются материалы докладов, отражающие результаты исследований ученых по актуальным проблемам машиностроения.

Рассмотрены вопросы разработки и внедрения высокоэффективных технологий машиностроительного производства, пути обеспечения качества технологического оборудования и обрабатываемого инструмента, создания методов моделирования технологических процессов, внедрения информационных технологий в машиностроении и новых инженерных технологий в образовании и медицине, создания мехатронных и робототехнических систем в машиностроении.

Материалы представляют интерес для широкого круга специалистов в области машиностроения.

УДК 621:65.015

ISBN 5-89368-240-8

© Владимирский государственный университет, 2001

## **Секция 1**

# **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

---

**А.А. Аблаев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Для восстановления изношенных деталей авиационной техники применяются гальванические, диффузионные, газотермические и электроискровые методы. В ряде случаев методы электроискровой наплавки (ЭИН) являются единственным методом, который пригоден для восстановления деталей со сложными профилями. Однако основным недостатком ЭИН является малая производительность нанесения покрытия ( $0,5 \dots 3,5$  мин/см<sup>2</sup>) и небольшая толщина покрытия (до 0,12 мм). Отсюда целью работы являлось нанесение износостойких покрытий на изношенные детали авиационной техники с увеличением производительности ЭИН до 0,2 мин/см<sup>2</sup>, а толщины покрытия до 0,24 мм.

Проведенные нами исследования показали, что решение проблемы возможно следующими способами: совмещение наплавки трением с ЭИН; способ бесконтактной ЭИН; контактно-порошковым способом.

Реализация первого технического решения обеспечивала восстановление электродом из сплава ВЖЛ2М изношенного до 0,7 мм линейного размера торца пера реборды лопатки 1-й ступени ГТД1500, изготовленного из сплава ЖС-6, ЖС-26, ЖС-32У.

Бесконтактный способ ЭИН позволил восстановить размеры ведущих валов (материал – сталь 12Х2Н4А-Ш), муфт редуктора ВР-8 вертолета МИ-8, имеющих повреждения на цилиндрической поверхности трения глубиной до 0,55 мм порошками из сплавов ВЖЛ2 и ВЖЛ2М зернистостью 60...120 мкм.

Контактно-порошковый способ занимает промежуточное положение между контактным способом с вибрирующим электродом и бесконтактным способом. Способ отличается тем, что позволяет получать покрытия, сочетающие свойства компактного электрода и порошкового материала.

Проведенные исследования с различными способами ЭИН показали, что возможно получение методами ЭИН покрытия толщиной до 1,5 мм, которые обладают хорошими служебными свойствами.

**Д.В. Абрамов, С.М. Аракелян, Д.М. Белов, В.Г. Прокошев,  
С.И. Шишин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ЛАЗЕРНОИНДУЦИРОВАННОЙ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ ОТВЕРСТИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ**

В последние годы технология лазерной прошивки отверстий находит всё более широкое применение в промышленности. Наиболее оправданным является применение лазерного луча для обработки твёрдых и тугоплавких материалов, а также материалов, склонных к хрупкому разрушению. Однако, несмотря на высокую эффективность процесса, получить отверстия высокого качества зачастую бывает невозможно. Качество обработки во многом определяется способом удаления материала из зоны обработки. Как известно, при плотности мощности лазерного излучения более  $10^8$  Вт/см<sup>2</sup> процесс разрушения и удаления материала идёт в испарительном режиме. В этом случае получают отверстия с высоким качеством поверхности, но затраты энергии на обработку, определяемые удельной энтальпией испарения материала, велики. При снижении плотности мощности лазерного излучения материал удаляется в виде расплава выдуванием газовой струёй через специальное сопло, располагающееся в непосредственной близости от расплавленной области. Однако в ряде случаев этот способ удаления расплава может быть не реализован вследствие того, что из-за дифракционного расширения и рефракции на неоднородностях показателя преломления размер лазерного пятна увеличивается, полная энергия лазерного излучения при прохождении через неоднородную атмосферу уменьшается за счёт поглощения и рассеяния на неоднородностях, а потому обрабатываемая поверхность может даже и не нагреться до температуры кипения. Поэтому принципиально важным в этом случае является способ удаления материала за счёт термокапиллярной конвекции.

На свободной поверхности расплава как при поверхностной обработке с оплавлением, так и при образовании парогазовой каверны, могут возбуждаться различные поверхностные волны (капиллярные, термокапиллярные, испарительные). Они реализуются при значительных вариациях параметров лазерного излучения ( $\lambda = 0,30 \dots 10,6$  мкм, длительности импульсов  $\tau = 10$  нс...1 мс, интенсивности  $I = 10^5 \dots 5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) и на расплавах разных материалов.

Рассмотрим стационарный процесс термокапиллярной конвекции в ванне расплава, образованной в результате воздействия потока энергии на поверхность тела, занимающего полупространство, (поток тепла, прохо-

дящий через нагреваемую верхнюю поверхность образовавшейся ванны расплава, и поток через всю границу плавления равны). Тогда форма ванны расплава и ее геометрические размеры, а также характер установившихся конвективных потоков жидкости будут постоянными.

С физической точки зрения, при мощности потока теплового излучения, удовлетворяющей условию образования преимущественно термокапиллярного характера конвекции, процесс будет заключаться в конвективном передвижении расплава на поверхности ванны от центра к периферии и существовании возвратного течения вдоль границы плавления от периферии к центру. В секущей плоскости, проходящей через ось ванны расплава, это движение будет иметь вид двух симметричных термокапиллярных ячеек – замкнутых линий, вдоль которых движется жидкость. Вследствие радиальной симметрии двухмерной задачи рассмотрим одну термокапиллярную ячейку с соответствующими граничными условиями.

Обозначим:  $R$  – радиус ванны,  $h$  – глубина ванны. Сложную форму границы фронта плавления аппроксимируем до прямоугольной,  $G = \{[0, R] \times [0, h]\}$  – рассматриваемая область существования процесса конвекции. Это приближение достаточно оправдано, если считать что аспектное соотношение  $L = R/h$ , полученное из физических экспериментов, для большинства материалов составляет  $2 < L < 5$ , а чем больше аспектное соотношение, тем выбранная аппроксимация более точна.

Для определенности примем гауссово распределение потока тепла на поверхности с полушириной  $r_0$ :  $q(x) = q_0 \cdot \exp(-x^2/r_0^2)$ . На границе плавления  $x = R$ ,  $y = h$ , в силу физических соображений, должно быть выполнено условие прилипания жидкости. На границе  $x = 0$  должны быть выполнены условия скольжения, т.к. это ось симметрии течения жидкости.

Уравнения Навье–Стокса для несжимаемой жидкости, описывающие термокапиллярное движение в стационарном режиме с учётом конвективного переноса тепла жидкостью, имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0; \\ v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right); \\ v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right); \\ v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right). \end{cases} \quad (1)$$

С граничными условиями в виде:

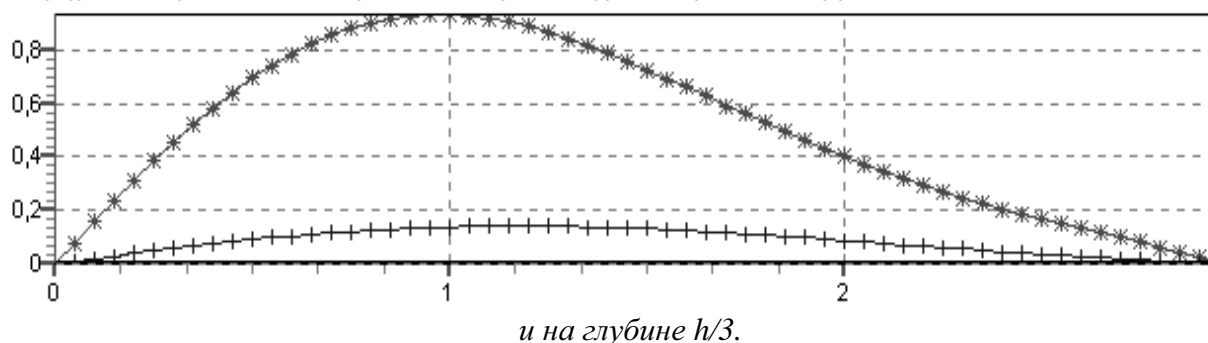
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{\sigma'}{\nu\rho} \frac{\partial T}{\partial x}, v_y = 0, \frac{\partial T}{\partial y} = -\frac{1}{\chi} q_0 f(x), \quad \text{при } y = 0; \\ T = T_0, v_x = v_y = 0, \quad \text{при } y = h; \\ T = T_0, v_x = v_y = 0, \quad \text{при } x = R; \\ v_x = 0, \frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{\partial v_y}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость;  $a$  – коэффициент температуропроводности;  $v_x, v_y$  – компоненты безразмерного вектора скорости движения расплава;  $q(x) = q_0 \exp(-x^2/r_0^2)$  – распределение потока тепла на поверхности с полушириной  $r_0$ ;  $\chi$  – коэффициент теплопроводности;  $\sigma'$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $P$  – гидростатическое давление;  $T$  – абсолютная температура;  $\rho$  – средняя плотность расплава.

Распределение поля скоростей течения расплавленного лазерным излучением материала, полученное в результате решения системы уравнений (1) представлено на рисунке.

*Распределение горизонтальной скорости течения расплава на поверхности*

Распределение горизонтальной скорости на поверхности (\*) и на глубине  $1/3^*h$  (+)



**Выводы.** Механизм образования отверстий состоит в уменьшении толщины жидкого слоя за счёт перераспределения расплавленной массы под действием термокапиллярной конвекции.

**А.Я. Алифанов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Одним из основных направлений современной технологии машиностроения является совершенствование традиционных технологических процессов, так и создание новых высокоэффективных, которые осуществляет Российская Академия Технологических наук. Одним из таких направлений, которое позволяет значительно увеличить производительность обработки, являются интенсивные электротехнологии. При анализе существ-

вующей технологии производства кольцевых деталей на заводах авиационного строения еще до конца не решены такие вопросы, как оптимальные размеры заготовок с наименьшими припусками на обработку, низкая производительность механической обработки.

Существующие конструкции заготовок кольцевых деталей имеют низкий КИМ (коэффициент использования материалов) из-за чего большая часть заготовки превращается в стружку, что представляет большие трудности для механообрабатывающих цехов, связанные с уборкой, транспортировкой и переработкой стружки, стоимость обработки растет. С этой целью были намечены пути создания новых заготовок путем приближения конфигурации заготовки к конфигурации детали и применения новой технологии изготовления заготовки путем замены литейных заготовок сварными конструкциями, что в несколько раз уменьшало себестоимость.

В связи с этим разрабатывается комбинированная механическая обработка с вводом технологического тока в зону обработки по схеме «электрод – деталь». Модель эквивалентной электрической схемы строилась в двух вариантах: первый вариант, когда инструментальный и обрабатываемый материалы – электропроводны, второй – обрабатываемый материал электропроводный, а инструментальный – диэлектрик из СТМ.

Такая технология обработки позволяет увеличивать процесс производства заготовки и детали – кольца в несколько раз по сравнению с существующей. Ввод технологического тока способствует уменьшению составляющих сил резания, удельных нагрузок на переднюю и заднюю поверхности инструмента, уменьшению его износа, увеличению производительности, обеспечивая высокое качество обработанной поверхности. В результате разработаны новейшие технологии по обработке большого количества кольцевых деталей двигателя наземного базирования, а также других двигателей.

При обработке кольцевых деталей с вводом технологического тока используются на токарных работах карусельные станки, электроконтактные приспособления, специальная подсистема модульного инструмента, которая позволяет производить быструю замену инструмента. Модульные резцы крепятся в специальные быстросменные блоки, что позволяет производить замену за десятые доли секунды. Другой важный вопрос, который решался на производстве при обработке, – это дробление витой стружки, что представляет большую проблему, как для наших заводов, так и зарубежных фирм.



Автором запатентован новый производительный метод дробления, который решает эту проблему. Такая новая технология намного превосходит зарубежные аналоги и разработки зарубежных фирм.

После анализа заводского процесса был разработан более короткий техпроцесс обработки детали на робототехнологическом комплексе и составлена программа при вводе технологического тока в зону обработки, разработана конструкция механического схвата, позволяющая производить быструю установку и снятие заготовок.

Большое внимание было уделено при проектировании электроконтактного приспособления к револьверной головке, включающего два основных этапа – это проектирование токоподводящих шин и проектирование токопровода. Для револьверной головки типа УГ 9321 определялось предельное сечение шин, исходя из силы тока, при котором максимальная температура шины не должна превышать  $70^{\circ}\text{C}$ , а перепад температур окружающей среды и шины должен составлять  $50^{\circ}\text{C}$ . Были получены зависимости для определения силы прижатия в приспособлении, число токопроводов. В РТК входит промышленный робот модели М10П62.01, осуществляющий смену заготовок, тактовый стол СТ 20. Промышленный робот жестко закреплен на станине станка, а взаимное расположение станка, робота и магазина деталей (тактового стола) позволяет производить замену заготовки в автоматическом режиме. Разработанная технология деталей дает значительную экономическую эффективность и может быть применена в различных отраслях машиностроения на станках с ЧПУ.

При анализе заводской технологии изготовления деталей особое внимание было обращено на сокращение оборудования, выбор рационального инструмента и режимов резания с учетом электрических характеристик электроконтактных установок, физико-механических свойств обрабатываемых деталей. В результате был получен значительный экономический эффект от применения новой технологии по сравнению с заводской. Применение на аналогичных деталях в авиационной промышленности технологий электромеханических методов – это большой резерв повышения производительности.

**А.Я. Алифанов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Современное развитие машиностроения связано все с большим применением труднообрабатываемых материалов, большая часть из которых

имеет низкую производительность при механической обработке. Одним из перспективных направлений новых технологий, позволяющих значительно увеличить производительность обработки, а также стойкость инструментов являются электромеханические методы обработки, сущностью которых является создание искусственного источника тепла в зоне стружкообразования от ввода технологического тока, что, в свою очередь, ведет к снижению контактных нагрузок на переднюю и заднюю поверхности инструмента, увеличению стойкости и производительности обработки в несколько раз [1].

В зависимости от вида обработки и производственных условий выбирается одна из схем подвода технологического тока: «один электрод – зона стружкообразования», «два электрода – зона стружкообразования», «два электрода – зона стружкообразования – деталь». Для обработки труднообрабатываемых материалов применяется установка УТМ-1, состоящая из системы управления, силовой электрической цепи, электроконтактного приспособления. На такой установке можно производить точение, фрезерование и другие виды работ. Большое внимание было уделено разработке новых конструкций инструментов для обработки труднообрабатываемых материалов.

Для ЭМО (электромеханическая обработка) на кафедре «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» РГАТА создана установка, инструменты, оснастка и технология обработки различных деталей. Такая установка работает в комплексе с любым токарным станком и обычно обладает мощностью, равной  $N_y = \left(\frac{1}{2} \dots \frac{1}{3}\right) N_{cm}$ , где  $N_y$  – мощность установки;  $N_{cm}$  – мощность главного привода станка.

Большое внимание уделялось разработке систем управления ЭМО. В результате работы удалось создать несколько систем управления, которые опережают зарубежные системы и запатентованы автором. К установке ЭМО разработаны новые подсистемы инструментов на все виды токарных работ, имеющие высокие экономические показатели. Также большое внимание уделялось конструкциям электродов, подбору оптимальных геометрических параметров рабочей части электрода и его материала.

На основании теоретических и опытных данных получены результаты по оптимальной обработке материалов, таких как оптимальные плотности вводимого технологического тока и его влияние на увеличение производительности обработки и стойкости инструмента, качество обработанной поверхности.

Далее в докладе приводится классификация методов электромеханической обработки, конструкций различных установок, приспособлений,

инструментов и даются рекомендации по применению в различных отраслях машиностроения при обработке материалов. Предложенные методы, установки, инструменты увеличивают в несколько раз производительность обработки материалов по сравнению с обычными методами обработки.

Для карусельных станков типа 1А5212МФЗ, 1А516МФЗ спроектированы электроконтактные приспособления и система подвода технологического тока к инструментальным блокам, в которых закреплялся комбинированный инструмент. При этом учитывались минимальные затраты на модернизацию существующего оборудования, удобство подвода тока. Аналогичное оборудование было разработано для различных токарных работ на большой группе токарных станков, учитывая простоту конструкции, удобство подвода тока и работу комбинированного инструмента.

При проектировании оборудования для ЭМО определяются электрические параметры процесса: напряжения и сила тока, определяется плотность технологического тока, которая влияет на размеры токопроводов, выбор их материалов, учитывая наименьшее удельное и контактное сопротивления. Для уменьшения электрических потерь необходимо получать наименьшие контактные сопротивления в стыках подводимых шин, а места стыков сжимать наименьшими силами прижатия. С другой стороны необходим подбор контактирующих пар с окисными пленками наименьшего сопротивления, что также сокращает тепловые потери.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алифанов А.Я. Электромеханические методы обработки труднообрабатываемых материалов // Тез. докл. I Всесоюзн. съезда технологов-машиностроителей. – М.: АН СССР, 1989. – С. 22.

**А.Я. Алифанов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Современный анализ конструкций зарубежных инструментов приводит к выводу, что ни одной из зарубежных машиностроительных фирм в настоящее время еще не разработаны эффективные комбинированные инструменты для ЭМО (электромеханическая обработка).

Исключая этот пробел, автором была разработана новая классификация резцов для ЭМО, разработаны подсистемы инструментов для станков с ЧПУ и обычных станков. В основу конструкций инструментов был положен модульный принцип, который заключался применительно для токарных резцов в разработке рабочей головки и державки. В рабочей головке

закреплялись режущие пластинки и электроды. Рабочая поверхность электродов армируется материалом типа *BKГОМ*, имеющим высокую твердость при нагреве и хорошие электрические характеристики. Такие конструкции позволяют подводить ток большой силы и малого напряжения, что, в свою очередь, дают высокие температуры нагрева.

Совершенствование методов ЭМО происходит при создании эффективного, производительного инструмента для всех видов обработки, как с креплением одно-кромочных пластин, так и неперетачиваемых, учитывая при разработке конструкций такие основные качества, как простота конструкции, ее надежность, невысокая стоимость, ремонтпригодность. Исходя из этих требований, была разработана большая гамма инструментов для токарных, фрезерных, протяжных работ. Другим резервом совершенствования является разработка наилучших конструкций электродов с оптимальной рабочей поверхностью, которая обеспечивает надежный контакт с деформированным металлом на оптимальном расстоянии от режущих кромок инструмента, выбор оптимальных марок рабочих поверхностей электродов. При обработке труднообрабатываемых материалов хорошие результаты показали режущие пластинки различных марок режущей керамики, стойкость которых при ЭМО в несколько десятков раз выше, чем при традиционной обработке.

Дальнейшим резервом совершенствования методов является оптимальный подвод тока в зависимости от физических процессов, которые происходят в контактных слоях деформированного металла при распределении плотности проводимого тока, от которого зависит тепловая мощность источников. Другими резервами ЭМО является увеличение номенклатуры обрабатываемых деталей.

Другой пример совершенствования разработок методов ЭМО – это включение их в интегральную технологию. Далее в докладе приводятся системы управления ЭМО, их классификация, конструкции инструментов и установок, даются рекомендации применения в различных областях промышленности при обработке деталей машин.

В настоящее время существует большое количество конструктивных решений закрепления СМП из твердого сплава в державках резцов, но из них большее распространение получили четыре базовых способа крепления, которые по международной классификации ИСО 5608-80 обозначаются буквами С, М, Р, и S. За основу конструирования резцов для комбинированной обработки на станках с ЧПУ были приняты эти четыре способа и разработана подсистема режущего инструмента, который обладает высокой производительностью по сравнению с обычными конструкциями.

При разработке комбинированного инструмента учитываются силы резания, которые влияют на размеры инструментов, токовые режимы:

напряжение и сила тока, которые влияют на выбор электродов, их размеры и материалы. Особое внимание уделялось для проектирования рабочей поверхности электрода. Получено, что оптимальные поверхности можно получить профилируя электрод по клотоиде. При установке электродов уменьшается оптимальное расстояние от режущей кромки.

**В.Н. Андрианов**

*Россия, г. Владимир, ОАО «Завод Электроприбор»*

**А.А. Назаров**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ И ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РЕФЛЕКТОРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ФАР**

Современное производство характеризуется широким внедрением технологий нанесения покрытий тонких пленок и создания на их основе многослойных структур. Известны три основных метода нанесения тонких пленок: термическое (вакуумное) напыление, ионно-плазменное напыление и электрохимическое осаждение. Преимущества первых двух: высокая производительность, меньшее электропотребление, возможность получения высококачественных тонких пленок, простота, отсутствие вредных испарений и отходов, загрязняющих окружающую среду, – предопределили более широкое распространение данных методов не только в радиоэлектронных отраслях, но так же и в автомобилестроительной промышленности при производстве отражателей фар и других светотехнических приборов.

Процесс изготовления отражателей автомобильных фар предполагает выполнении двух основных технологических переходов:

- нанесение тонкой алюминиевой пленки;
- покрытие сформированного алюминиевого слоя прозрачной пленкой из кремний – органических соединений;

Выполнение данных переходов осуществляется комбинацией двух первых методов из перечисленных выше. С этой целью в рабочих камерах промышленных установок в условиях среднего, а в некоторых установках в среде глубокого вакуума создается электрическое поле, содержащее постоянную и переменную составляющие. Экспериментальные исследования, проведенные автором на рабочих установках 1АП761 ОАО «ОСВАР» совместно с сотрудниками ОМА, показали, что постоянная составляющая, прежде всего, необходима для поджига и поддержания в течение всего рабочего цикла тлеющего разряда в вакуумной камере. Учитывая, что процессы, протекающие в вакуумных камерах носят существенно нестациона-

нарный характер, а так же недопустимость перерастания тлеющего разряда в дуговой для исключения пробоя нанесенных алюминиевых пленок, автором разработан для этих целей регулятор тока с ПИД законом регулирования выходного параметра.

Присутствие составляющей переменной поля позволяет облегчить процесс напыления защитных диэлектрических пленок (кремний органические соединения).

Однако, переход на использование рефлекторов, выполненных из полимерных материалов, взамен металлических потребовало применения более высокочастотных источников напряжения для обеспечения требуемого качества напыления на них отражающих и защитных покрытий. С этой целью разработанный регулятор тока был доукомплектован высокочастотным регулируемым источником со следующими выходными параметрами:

- рабочая частота – 13,56 МГц;
- выходная мощность на нагрузке 75 Ом – 200 Вт;
- сопротивление нагрузки – 75...1000 Ом;
- напряжение питания –  $220 \pm 10\%$  В.

Результаты испытаний, проведенные на ОАО «ОСВАР» на деталях стандартной формы показали высокую эффективность разработанного комплекта источников для машин напыления 1АП761.

Дальнейшее совершенствование автомобильной техники привело, с одной стороны, к усложнению конструкции отражателей фар (увеличение глубины при одновременном уменьшении их ширины), с другой – к повышению требований к их внешнему виду и качеству отражающих покрытий наносимых на них.

Последнее выдвинуло ряд требований, которым должны удовлетворять как технологическая оснастка вакуумных камер машин для напыления, так и применяемые источники тлеющего разряда, особенно их высокочастотная часть, а так же проведения новых экспериментальных и теоретических исследования в этой области автомобилестроения.

**Е.А. Архипова, А.П. Шевченко**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## НАПРАВЛЯЮЩИЙ ОРГАН ТКАЦКОГО СТАНКА

Проблема, решаемая авторами, относится к области текстильного машиностроения и касается модернизации традиционных ткацких станков для выработки трехмерных тканей.

Ранее была получена трехмерная ткань с наклонным по отношению к горизонту расположением заполнительных слоев [1]. Технология выработки такой ткани предусматривает поворот опушки ткани в цикле зевобразования с целью установки заполнительных слоев в момент прибоя параллельно берду. В данном случае поворот опушки ткани в момент прибоя достигается за счет разницы в натяжении горизонтальных каркасных основ.

С увеличением толщины ткани и с уменьшением угла наклона заполнительного слоя к горизонту растет и разница в натяжении каркасных основ. По этой причине при углах наклона заполнительных слоев ткани к горизонту менее  $60^{\circ}$  процесс выработки ткани становится очень напряженным или нарушается вообще.

Предлагаемый направляющий орган ткацкого станка [2] позволяет осуществлять поворот опушки ткани в цикле зевобразования и, соответственно, установку заполнительных слоев ткани в зоне формирования в момент прибоя параллельно берду при одинаковом оптимальном запорочном натяжении каркасных основ.

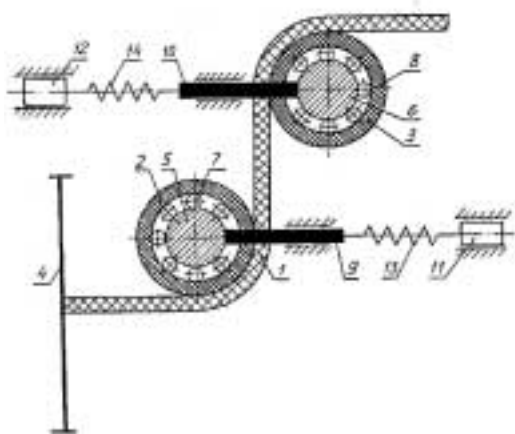


Рис. 1. *Схема направляющего органа*

Направляющий орган (рис. 1) содержит два направляющих элемента для направления движения ткани 1, выполненные в виде полых труб 2 и 3 с обрешиненной поверхностью, установленных горизонтально по ширине ткани перед бердом 4 на валиках 5 и 6 с помощью подшипников 7, 8. Валики 5 и 6 жестко связаны с кронштейнами 9 и 10, которые соединены с ползушками 11, 12 посредством пружин 13, 14. Кронштейны 9, 10 и ползушки 11, 12 установлены в горизонтальных направляющих. При этом кронштейны 9, 10 установлены с возможностью горизонтального перемещения в направляющих, а ползушки 11, 12 уста-

новлены стационарно с возможностью изменения места их крепления в горизонтальных направляющих.

Устройство работает следующим образом. Сформированная ткань 1 направляется из зоны формирования от берда 4, огибая поверхность первого направляющего элемента (поверхность трубы 2), а затем второго направляющего элемента (поверхность трубы 3) к отводящему элементу (не показан).

При подходе берда 4 к опушке ткани 1 начинается ее движение под действием берда 4. Длина заправочной ткани 1 на участке между бердом 4 и отводящим элементом сокращается, а длина самой ткани 1 на этом участке остается неизменной. При ослабевании натяжения ткани 1 начинают одновременно сжиматься пружины 13 и 14 до тех пор пока бердо 4 не займет крайнего правого положения (момент прибоя). При сокращении пружин 13, 14 кронштейны 9, 10 начинают перемещаться в своих направляющих соответственно горизонтально влево и горизонтально вправо, увлекая за собой валики 5 и 6 несущие трубы 2 и 3. В результате ткань не испытывает резкого уменьшения натяжения и не теряет контакта с поверхностями труб 2 и 3, которые в момент прибоя занимают соответственно крайнее правое и крайнее левое положения (рис. 2,а).

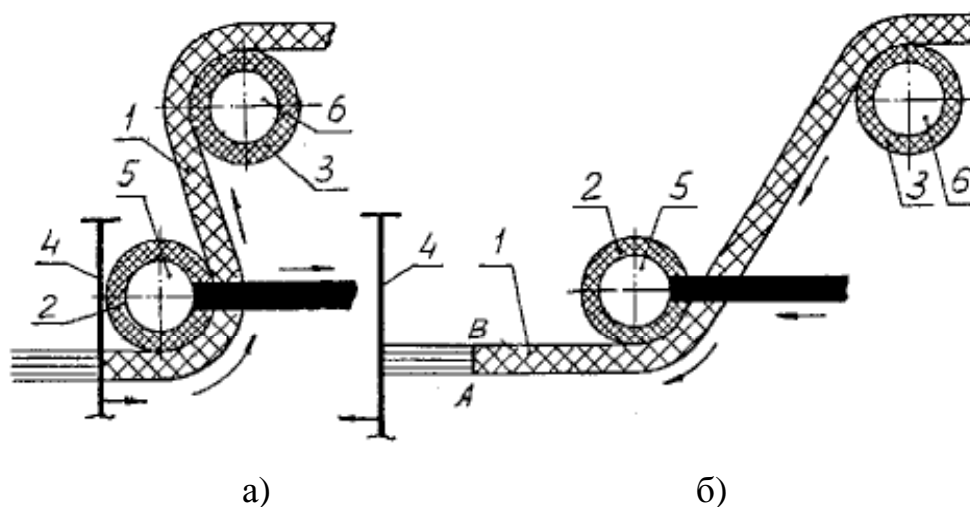


Рис. 2. Схемы работы устройства: а) – прямой ход; б) – обратный ход.

При отходе берда 4 от опушки ткани 1 (в этом случае бердо 4 перемещается влево) в цикле зевобразования начинается обратный процесс (рис. 2,б). В этом случае натяжение ткани 1 начинает возрастать, пружины 13 и 14 начинают растягиваться, а валики 5 и 6 несущие трубы 2 и 3 движутся соответственно горизонтально влево и горизонтально вправо, занимая при крайнем заднем положении берда 4 крайнее левое и крайнее правое положения. Ткань 1 при этом продолжает при этом продолжает плотно огибать поверхности труб 2 и 3 находясь с ними в тесном контакте.



Цикл зевобразования заканчивается, а затем начинается снова.

За счет того, что за весь цикл зевобразования ткань в зоне формирования не теряет контакта с направляющими элементами, опушка ткани трехмерного переплетения с наклонным расположением заполнительных слоев в момент приобоя устанавливается в требуемое для правильного формирования ткани положение.

Поведение опушки ткани трехмерного переплетения с наклонным расположением заполнительных слоев за цикл зевобразования схематично показано на рис. 3, а, б.

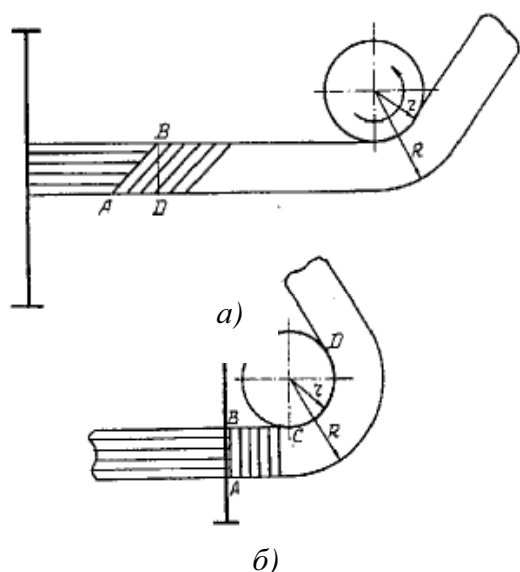


Рис. 3. Схема поведения опушки ткани

Параметры строения и выработки ткани могут быть разными, поэтому в соответствии с требованиями, предъявляемыми к технологии выработки конкретной ткани трехмерного переплетения, диаметр труб может быть различным, а место их установки в зоне формирования может меняться. Эти обстоятельства облегчают также и поиск оптимальных технологических условий выработки одной конкретной ткани.

Рассмотренное устройство позволяет стабилизировать процесс выработки трехмерной ткани и осуществлять ее наработку в массовом производстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архипова Е.А. Разработка структуры и технологии выработки слоисто-каркасных тканей со смещенным расположением заполнительных слоев и тканей криволинейного профиля: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛИТЛП им. С.М. Кирова, 1985. — 18 с.
2. Пат. 2144580 РФ, МКИ 7 Д 03 49/04, 49/22. Направляющий орган ткацкого станка / Е.А. Архипова, А.П. Шевченко (РФ). Оpubл. 20.01.2000.

**Е.А. Архипова, А.П. Шевченко**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СОВМЕЩЕННЫХ ПЕРЕГРУЗОК

Определенная группа приборных устройств функционирует при воздействии кратковременных линейных (осевых) и центробежных перегрузок [1]. Такие перегрузки называются совмещенными. Они имеют импульсный характер с временем действия несколько миллисекунд.

Для воспроизведения перегрузок на стендах задаются законы изменения линейной перегрузки  $K_x(t)$  и угловой скорости вращения объекта  $\omega(t)$ . Причем фронт нарастания осевых перегрузок опережает фронт нарастания угловой скорости вращения объекта.

Задача включает разработку принципа воспроизведения совмещенных перегрузок и конструкции стенда, реализующей предложенный принцип воспроизведения перегрузок. При этом приняты допущения.

Первое допущение состоит в том, что предусматривалось частичное воспроизведение закона осевых перегрузок, а именно, воспроизведение только переднего фронта нарастания перегрузок. Это оказалось приемлемым для определенного типа приборных устройств.

Второе допущение состояло в том, что воспроизведение осевых перегрузок предполагалось осуществлять путем торможения объекта с приборным устройством. Такой путь выбран ввиду необходимости контроля функционирования приборного устройства как в процессе испытаний, так и в процессе последующих поверочных операций.

Стенд, представляющий собой инерционно-импульсную систему, (рис. 1) состоит из индентора 1, ротора 2, осевого формирователя осевых ускорений 3, демпфера 4 и формирователя центробежных ускорений 5. В результате взаимодействия с испытуемым приборным устройством индентор должен получить заданное осевое ускорение и угловое ускорение. При том пиковое значение осевого ус-

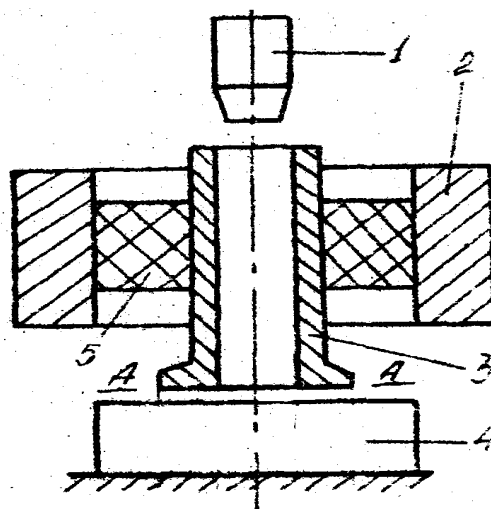


Рис. 1. Принципиальная схема динамического стенда.

корения должно опережать момент наступления максимальной угловой скорости.

Система работает в следующей последовательности. Ротор 2 и формователи 3, 5 вращаются с одинаковой угловой скоростью, а индентору 1 сообщают начальную поступательную скорость движения к осевому формователю 3. Затем индентор 1 внедряется с известным усилием в осевой формователь 3, который, оседая вниз, упирается своим нижним торцом в демпфер 4. Возникающий момент трения останавливает движение осевого формователя 3. Ротор 2, продолжая вращаться, угловым формователем 5 создает крутящий момент, который вновь раскручивает осевой формователь 3 вместе с находящимся в нем индентором 1.

Таким образом, создается сначала заданное осевое ускорение, а затем, через определенное время, заданная угловая скорость индентора 1 с испытуемым приборным устройством. Задача исследования состоит в выборе оптимального соотношения моментов инерции ротора 2 и осевого формователя 4 и в определении характеристики углового формователя 5, который представляет собой комплект параллельно соединенных спиральных пружин, укрепленных на роторе 2 и на формователе 3.

Закон внедрения индентора определен по экспериментальной зависимости  $l = 2,57 \cdot 10^{-15} F(t)^{2,63}$  [3], где  $F(t)$  – осевое усилие внедрения, Н.

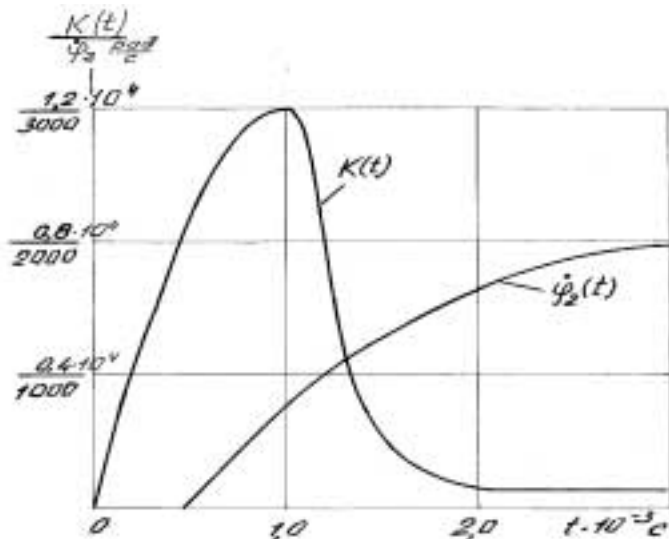


Рис. 2. График перегрузок

Момент трения  $M_{тр}$  нижнего торца осевого формователя 3 и демпфера 4 определяется по известной формуле [2] и аппроксимируется функцией  $M_{тр} = A t^\alpha$ , где  $A$  – коэффициент, зависящий от размеров опорной поверхности формователя и коэффициента трения материала формователя и демпфера;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от конфигурации индентора и формователя.

Движение системы «ротор – осевой формователь» описывается системой дифференциальных уравнений

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + M(\varphi) = 0, \quad I_3 \ddot{\varphi}_3 + M(\varphi) = 0, \quad M(\varphi) = M_{пр} - M_{тр}.$$

где  $I_2, I_3$  – моменты инерции ротора и осевого формирователя;  $M_{пр}$  – момент, создаваемый угловым формирователем.

Практический интерес представляет исследование системы уравнений при условии  $M(\varphi) \geq 0$ .

В результате исследования установлено, что скорость вращения осевого формирователя  $\dot{\varphi}_3$  зависит от соотношения моментов инерций  $q = I_3/I_2$ . Оптимальное значение  $q$  находится в пределах 0,1..0,2.

На рис. 2 приведены графики осевого ускорения индентора и его угловой скорости. Максимальные значения осевого ускорения и угловой скорости сдвинуты во времени на  $0,8 \cdot 10^{-3}$  с.

Проведенные исследования показывают возможность практической реализации рассмотренной конструкции инерционно-импульсной динамической системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Испытательная техника: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 213 с.
2. Иванов М.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 323 с.
3. Батуев Г.С., Голубков Ю.В. и др. Инженерные методы исследования ударных процессов. – М.: Машиностроение, 1969. – 248 с.

**М.А. Бурнашов, Ю.С. Степанов**

*Россия, г. Орел, ОрелГТУ*

**А.П. Черепенько**

*Россия, г. Орел, ОрелГУ*

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСКРОЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ ЖИДКОСТИ НА НАМОКАНИЕ КРОМКИ РЕЗА

В процессе раскроя пакетов технических текстильных материалов (ТТМ) сверхзвуковой струей жидкости (ССЖ) ввиду гигроскопичности данных материалов и сравнительно низкой (со скоростью резания) скоростью подачи сопловой головки наблюдается намокание кромки реза, что отрицательно влияет на качество резания, а для тканей – и на осыпаемость.

С целью изучения данного вопроса и оптимизации режимов резания на кафедре «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Орловского государственного технического университета были проведены эксперименты для получения математических моделей степени намокания кромки реза, оцениваемой максимальным водяным пятном. Как показали результаты экспериментов, наихудшее качество с точки зрения

намокания образцов наблюдалось в последнем слое пакета, т.к. помимо граничного воздействия ССЖ в процессе резания на материал еще дополнительно воздействует отраженная вода от опор раскройного стола (сетчатой поверхности из стальной проволоки или стальных ножей).

Планирование экспериментов проводилось по дробному факторному плану  $2^{4-1}$ . При этом варьируемыми параметрами были:  $X_1$  – давление ССЖ ( $P$ ) при входе в материал, МПа;  $X_2$  – диаметр сопла  $d$ , мм;  $X_3$  – расстояние от сопла до материала  $l$ , мм;  $X_4$  – подача гидроструйной головки  $S$ , мм/мин.

В табл. 1 представлена область варьирования факторов при проведении экспериментальных исследований степени намокания кромки реза. Данная область также является областью адекватности математической модели.

Таблица 1

Область варьирования факторов

№ п/п	ФАКТОРЫ	МИНИМУМ	МАКСИМУМ
1	Давление ССЖ, МПа	250	400
2	Диаметр струеформирующего сопла, мм	0,15	0,3
3	Расстояние от сопла до поверхности пакета, мм	5	10
4	Подача сопловой режущей головки, м/мин	0,58	1,1

Задача экспериментальных исследований по определению степени намокания нижнего слоя пакета ТТМ при раскросе ССЖ сводилась к определению максимального диаметра пятна при воздействия режущей струи жидкости и получению уравнения регрессии, которое можно записать в общем виде:

$$H=10^Y,$$

$$\text{где } Y=b_0 + b_1 \cdot (a_1 \lg P + a_2) + b_2 \cdot (a_3 \lg d + a_4) + b_3 \cdot (a_5 \lg l + a_6) + \\ + b_4 \cdot (a_7 \lg S + a_8) + b_{12} \cdot (a_1 \lg P + a_2) \cdot (a_3 \lg d + a_4) + \\ + b_{13} \cdot (a_1 \lg P + a_2) \cdot (a_5 \lg l + a_6) + b_{23} \cdot (a_3 \lg d + a_4) \cdot (a_5 \lg l + a_6).$$

Для определения значений диаметра водяного пятна в ходе экспериментальных исследований был использован монокулярный микроскоп.

Проверка резко выделяющихся из опытных рядов значений осуществлялась по стандартной методике с помощью критерия Стьюдента, значимости коэффициентов модели ( $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ ) – по критерию Кохрена, адекватности модели – по критерию Фишера.

Таблица 2

*Коэффициенты уравнений регрессий для определения степени намокания кромки реза при раскрое ТТМ*

Обрабатываемый материал	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_{12}$	$b_{13}$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
Капроновая высоко- объемная ткань КВТ-1 ТУ 17-04-13-81	0,205	-0,1	0,069	0,084	-0,17	0,077	0	9,798	-24,495	6,644	4,474	6,644	-5,644	7,195	0,702
Лавсановая высоко- объемная ткань ЛВТ - 3А ТУ 17-09-09-50-87	0,236	-0,01	0,083	0,075	-0,167	0,037	0,049								
Войлок иглопробив- ной синтетический ТУ 17-134-85	0,472	-0,067	0,04	0,036	-0,147	0	0,027								
Полиоксадиазольная ткань ТУ 6-06-31-64-74	0,395	-0,055	0,05	0,05	-0,055	-0,011	-0,011								
Лавсановая ткань ТУ17 405-78	0,346	-0,084	0,05	0,049	-0,129	0,022	0,028								
Прорезиненная ткань № 237 ТУ 38.305-05-280-90	0	-0,079	0,108	0,113	-0,25	0	0,099								
Асбестовая ткань АТ-3 ГОСТ 6102-94	0,26	-0,086	0,057	0,064	-0,216	0	0,046								

По результатам проведенных экспериментальных исследований были получены уравнения регрессии степени намокания нижнего слоя для семи различных материалов (табл. 2).

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что намокание кромки реза оказывает отрицательное влияние на величину осыпаемости технических тканей, а при разработке технологических процессов раскроя необходимо пользоваться рекомендациями по выбору оптимизированных режимов резания с целью обеспечения нормального качества кромки реза.

Намокание вследствие раскроя ССЖ пакетов технических дублированных, прорезиненных материалов, искусственной кожи не влияет на качество швов после сборки методом сшивания деталей из данных материалов ввиду их водостойкости. При увеличении давления ССЖ для всех исследуемых материалов величина степени намокания кромки реза, определяемая максимальным диаметром пятна контакта, уменьшалась, что физически можно объяснить увеличением компактности ССЖ при истечении из сопла с более высоким давлением и, соответственно, скоростью.

**В.П. Вороненко, В.А. Кравченко**

*Россия, г. Москва, МГТУ «СТАНКИН»*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Развитие современного машиностроения невозможно без автоматизации сборочных производств. Научно-технический прогресс машиностроения характеризуется усложнением конструкций, повышением качества и технико-экономических характеристик выпускаемых изделий. Кроме того, расширяется номенклатура изделий, увеличиваются темпы сменяемости их моделей. За последние десять лет номенклатура освоенных новых машин возросла более чем в 15 раз при сокращении времени нахождения изделий в производстве с 10...15 до 3...4 лет. Следствием этого является преобладание производств с малой серийностью, что создает значительные трудности при автоматизации сборочных производств.

Актуальность работ в области создания гибких автоматизированных сборочных производств (ГАСП) подтверждается тем, что трудоемкость сборочных работ составляет 25...30% от общей трудоемкости изготовления изделий и имеет тенденцию к дальнейшему росту, а стоимость этих работ в машиностроении достигает 50%.

Разработанная методология проектирования ГАСП учитывает всю инфраструктуру производственной среды. Особое внимание уделяется эф-

фективной работе транспортных систем, т.к. время транспортирования между сборочными позициями значительно больше времени, затрачиваемого на выполнение сборочных операций. Предложены критерий и метод оптимизации материальных потоков в ГАСП. Разработаны типовые схемы транспортных систем ГАСП и определены области их эффективного использования в зависимости от номенклатуры собираемых изделий и объемов их выпуска.

**Б.Г. Гасанов, А.А. Азаренков**

*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

### **ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС МЕДИ В ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Проблема повышения износостойкости и надёжности функционирования узлов трения различных машин и механизмов в настоящее время является весьма актуальной. Поэтому исследования в области снижения трения и износа перспективны и экономически оправданы. Существует множество различных способов повышения долговечности трущихся сопряжений, но одним из самых эффективных является использование эффекта безыносоности в результате самоорганизации процесса трения. В связи с этим авторами изучено влияние химического состава исходной шихты и пористости материалов на характер проявления избирательного переноса меди.

Избирательный перенос при трении металлов включает процессы деформации и разрушения поверхностных слоёв при определённом физико-химическом влиянии внешней среды [1, 2]. В зонах физического контакта сопряжённых тел в процессе трения с поверхности медных сплавов избирательно растворяются атомы менее коррозионностойких, чем медь элементов (цинка, олова, свинца и др.), что приводит к скачкообразному повышению плотности вакансий в получаемом медном слое. Этот тонкий и мягкий слой меди отличается минимальным коэффициентом трения, легко пластически деформируется и не упрочняется, т.е. является диссипативной структурной составляющей системы. На такой поверхности остаются слабо связанные с основой ионы меди (медь играет роль катода), которые покрываются растворителем смазки. Одной из наиболее активных смазок по отношению к окиси и закиси меди является глицерин (или его различные растворы), который при нагреве восстанавливает их до чистой меди.

Однако высокая стоимость медных сплавов обуславливает необходимость разработки технологии получения антифрикционных порошковых



материалов на основе железа с низким коэффициентом трения используя эффект безызносности.

Образцы для исследования влияния пористости изготавливались двумя партиями, первая – из смеси железного порошка ПЖР3.160 28 (ГОСТ 9849-86) и медного порошка ПМС-1 (ГОСТ 4960-80), вторая – из смеси этого же железного и бронзового БрОЦС4-4-4 (ГОСТ 5017-74) порошков. Концентрация меди и бронзы в шихте составляла 15% масс. Образцы были получены двусторонним холодным статическим прессованием (давление прессования варьировалось в пределах от 100 до 600 МПа) и последующим спеканием в атмосфере диссоциированного аммиака при 1100<sup>0</sup>С, 2 ч. Образцы для исследования влияния химического состава изготавливались по аналогичной технологии и из тех же исходных материалов, только в этом случае варьировалось содержание меди или бронзы в пределах 0...40%, а давление прессования было постоянным и равным 700 МПа.

Испытания проводились на машине трения типа МИ при скорости скольжения 0,55 м/с и давлении в зоне трения 5 МПа в условиях граничной смазки в глицерине, в качестве материала контртела использовалась сталь У8А (60 HRC).

Коэффициент трения  $f$  в спеченных сталях без добавок меди или бронзы после испытания в течение 30 мин. составлял 0,15...0,17. С увеличением концентрации Си до 10%  $f$  интенсивно снижается до 0,008...0,005, а при её дальнейшем увеличении остаётся практически неизменным. Этот факт объясняется тем, что при малых концентрациях меди её недостаточно для образования плёнки оптимальной толщины и вероятно она образуется не по всей поверхности трения, а лишь в местах наибольшей концентрации частиц меди.

При добавлении в исходную шихту порошка бронзы  $f$  стабилизируется на значениях 0,008...0,006 уже при содержании бронзы 5%, при дальнейшем увеличении концентрации бронзы до 40%, он понижается до 0,005...0,004. В этом случае избирательный перенос протекает интенсивнее. Бронза при указанной температуре спекания расплавляется и за короткое время растекается по поверхности частиц порошка железа. Вследствие этого, даже при меньших концентрациях, она более равномерно распределена в сплаве, чем медь.

При исходной пористости 12% коэффициент трения у сплава Fe-Br после приработки менее 4 мин снизился с 0,15 до 0,005, а при пористости 25% он составил 0,0045 после приработки в течение 26 мин. При дальнейшем увеличении пористости до 40%  $f$  возрастает до 0,008, а время приработки в этом случае составило 24 мин. Интенсивность износа в меньшей степени зависит от пористости. Она практически линейно возрастает с увеличением пористости. В основном износ наблюдался на приработочной

стадии процесса, т.к. при установившемся режиме трения у всех образцов проявлялся эффект безызносности. Коэффициент трения имеет минимум при пористости 25%.

Зависимость коэффициента трения и интенсивности износа от пористости для сплава Fe-Cu имеет более сложный характер, чем у сплава Fe-Br. Но даже при таком разбросе значений прослеживается тенденция увеличения интенсивности износа с ростом пористости. Коэффициент трения имеет минимум 0,006 в интервале пористости около 18...20%. У образцов из сплава Fe-Cu несколько иной характер приработки. Максимальное время приработки у образца с пористостью 11% составило 23 мин (рис. 4, кривая 3), у образца с пористостью 33% оно порядка 14 мин. Минимальное время приработки у образца с пористостью 20% – 6 мин.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что порошковые стали содержащие 8...10% бронзы или 12...15% меди, применяемые в качестве антифрикционных, позволяют реализовать процесс избирательного переноса и эффект безызносности. Остаточная пористость (в пределах 10...40%) порошковых сталей, содержащих 15% бронзы или 15% меди, влияет на интенсивность износа на стадии приработки, с увеличением пористости увеличивается и интенсивность износа, и коэффициент трения при установившемся режиме, он имеет минимум при пористости 25% для сплава Fe-Br и при пористости 20% для сплава Fe-Cu.

Применение таких материалов в узлах трения позволяет значительно снизить износ, потери на трение и расход цветных металлов.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гаркунов Д.Н., Поляков А.А. Структурная приспособляемость и избирательный перенос.// Долговечность трущихся деталей машин: Сб. статей. Вып. 5 / Под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 22–31.
2. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Под общ. ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1982. – 207 с.

**В.А. Гречишников, С.В. Лукина, В.Д. Кузнецов**

*Россия, г. Москва, МГТУ «СТАНКИН»*

#### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧИСТОВОЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ**

Повышение точности и качества обработки, а также снижение себестоимости производства, при обеспечении заданного уровня производительности операций – является одной из актуальнейших задач, стоящих перед современным производством.

Использование прогрессивных конструкций режущих инструментов позволяет увеличить скорость резания и тем самым способствует повышению производительности операций, что обеспечивает снижение себестоимости производства. Конструирование сборного режущего инструмента, оснащённого сменными механически закрепляемыми режущими элементами, в том числе имеющими алмазное напыление, в наиболее полной мере соответствует существующему уровню, основным тенденциям и перспективам развития производства в части организации экономики. Благодаря применению сменных механически закрепляемых режущих элементов снижается время на восстановление режущих свойств инструмента, сокращается машинное время, сокращается количество находящегося в обращении инструмента, увеличивается стойкость вследствие исключения напайки и заточки, более экономично используется инструментальный материал путём возврата пластинок, после чего он повторно используется в инструментальном производстве. Размеры режущих инструментов с многогранными режущими пластинами остаются в процессе обработки постоянными, что особенно важно для станков с программным управлением и автоматических линий.

Современное состояние и перспективы развития металлообработки характеризуются широким использованием сборного режущего инструмента, оснащённого сменными механически закрепляемыми режущими элементами (имеющими алмазное напыление), выполненных из твёрдых сплавов керамики и сверхтвёрдых материалов или поликристаллическими вставками. При фрезеровании высокоскоростная обработка имеет ряд существенных технических преимуществ по сравнению с традиционной металлообработкой: повышение производительности, т.е. величины минутной подачи в 8...10 раз, по сравнению с напайным инструментом, достигается за счёт увеличения скорости резания, даже при относительно низких значениях подачи на зуб. Это, в свою очередь, обеспечивает уменьшение шероховатости и силы резания, повышение точности обработки, уменьшается инерционность системы и крутильные колебания. Существенно меньше становится влияние механического удара на износ режущих пластин, резко сокращается число осколов и выкрашиваний, процесс износа стабилизируется, возрастает стойкость фрезы, уменьшается термоциклическое воздействие на режущие кромки, т.к. за период холостого пробега спад температуры приконтактного слоя режущего клина незначителен, что способствует уменьшению интенсивности и стабилизирует процесс износа. Увеличение скорости резания меняет физическую картину контактных процессов в зоне резания в сторону уменьшения работы деформаций, что проявляется в дополнительном уменьшении силы резания и улучшении качества обработки.

При фрезеровании, высокоскоростная обработка может быть выполнена на универсальном металлорежущем оборудовании путём увеличения в определённом диапазоне диаметра инструмента.

В настоящее время на кафедре «Инструментальная техника и технология формообразования» разрабатывается кассетная конструкция сборной торцевой фрезы для высокоскоростной обработки, с тангенциальным расположением, механически закрепляемых, режущих элементов, имеющих алмазоносный слой. Эта конструкция позволяет решить ряд задач связанных с улучшением качества обрабатываемых поверхностей деталей, повышением производительности труда, улучшением экономических показателей фрезерной обработки.

Преимуществом данной фрезы является расширение её технологических возможностей, за счёт использования механизма регулирования положения пластины в осевом и радиальном направлениях, что даёт возможность регулировать величину торцевого и радиального биений режущих кромок пластины.

Фреза состоит из следующих составных элементов: корпус фрезы имеет ряд пазов, предназначенных для размещения в них кассет (державок). Режущая пластина крепится на державке винтом через центральное отверстие, выполненное в центре пластины, крепление кассеты к корпусу фрезы осуществляется с помощью двух крепёжных винтов. Для перемещения кассеты в радиальном направлении, с прикрепленной к ней режущей пластиной, предусмотрен клин. Угол клина –  $10^\circ$ . Величина перемещения клина в осевом направлении – 1,5 мм, при этом величина перемещения кассеты в радиальном направлении – 0,2 мм. Для перемещения клина в осевом направлении имеется эксцентрик. Величина эксцентриситета – 0,75 мм. Перемещение кассеты в радиальном направлении возможно только при ослаблении крепёжных винтов кассеты, при этом пружинные шайбы поджимают кассеты к корпусу фрезы. Для перемещения кассеты в радиальном направлении необходимо повернуть эксцентрик с помощью шестигранного ключа. Для перемещения кассеты в осевом направлении конструкция фрезы включает в себя сухарь, находящийся внутри наклонного прямоугольного паза, выполненного в кассете. Угол наклона паза и соответственно верхней и нижней поверхностей сухаря –  $9^\circ$ . Одновременно сухарь находится внутри канавки выполненной на корпусе фрезы при этом верхняя и нижняя поверхности канавки выполненной на корпусе фрезы перпендикулярны оси инструмента. Величина перемещения сухаря в радиальном направлении – 3...4 мм. При этом величина перемещения кассеты в осевом направлении составляет 0,5 мм. Перемещение сухаря, возможное строго в радиальном направлении по канавке, выполненной на корпусе фрезы, осуществляется посредством регулировочного винта, имеющего

канавку для размещения в ней ограничительной шайбы, необходимой для предотвращения выпадания регулировочного винта из кассеты. Перемещение кассеты в осевом направлении производится путём вращения регулировочного винта посредством шестигранного ключа. Перемещение кассеты в осевом направлении и соответственно первоначальная регулировка положения пластины в осевом направлении возможно при ослаблении крепёжных винтов кассеты, при этом пружинные шайбы поджимают кассеты к корпусу фрезы. Окончательная регулировка положения пластины возможна при зажатых крепёжных винтах кассеты.

**А.Г. Григорьянц**

*Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАЗЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

В МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся разработки высокоэффективных твердотельных лазеров мощностью от 1 до 5 кВт и исследования их технологических возможностей.

Основой типового ряда лазеров является многоэлементный лазерный квантрон, обладающий повышенной эффективностью за счет плотного пространственного расположения активных элементов в квантроне.

Установлено, что использование твердотельных лазеров существенно увеличивает эффективность технологических процессов лазерной сварки, резки, наплавки, легирования и термообработки.

Значительное повышение производственных возможностей твердотельных лазеров достигается за счет применения гибких световодов, что позволяет создать мобильный многоцелевой технологический лазер и осуществлять лазерную обработку в любых пространственных положениях с использованием роботов.

**Ю.Г. Дорофеев, С.Н. Сергеенко, В.А. Червоный, Е.И. Чернобровкина**  
*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

## **ГОРЯЧАЯ ШТАМПОВКА ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ НАПЫЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

К числу прогрессивных технологических методов в машиностроении, получивших развитие в последнее десятилетие, относятся процессы, совмещающие операции порошковой металлургии и газотермического напыления: получение методами напыления пористой заготовки и её последующую обработку подобно порошковой. В ЮРГТУ ведутся работы по обработке давлением полученных напылением (далее «напыленных») заготовок. Разработаны холоднодеформированные напыленные материалы (ХДНМ) сталь-алюминий и цинк-алюминий для изготовления втулок подшипников скольжения и формообразующих деталей технологической оснастки.

Напыленный материал можно представить как слоистую укладку деформированных частиц, соединенных за счет механического зацепления и отдельных участков химического взаимодействия при значительном содержании пор, включений и других дефектов строения. Структурно такой материал подобен сильно деформированному порошковому телу в начальной стадии спекания.

Холодное прессование напыленных пористых материалов позволяет значительно повысить их свойства главным образом за счет снижения пористости. Однако получение более высоких свойств материала возможно только при развитии процессов сращивания, что достигается при дополнительной термической и термомеханической обработке: диффузионном отжиге (спекании), прессовании, штамповке и т.д. Известны технологии отжига (спекания) и горячей прокатки напыленных заготовок, например, Osprey-процесс; процессы горячей штамповки практически не изучены и не разработаны.

С целью выявления закономерностей формирования структуры и свойств напыленных материалов при горячем доуплотнении исследовался процесс горячей штамповки пористых сталь-алюминиевых заготовок.

Технология получения образцов включала: формование длинномерной (диаметр 22 мм, длина 300...400 мм) первичной заготовки послойным напылением на торец вращающегося цилиндра-основы; токарную обработку с целью получения необходимого количества заготовок-цилиндров (диаметр 20 мм, высота 9 мм); нагрев в электрической печи в воздушной

атмосфере; горячую штамповку; токарную обработку с целью подготовки к механическим испытаниям и получения образцов кольцевой формы.

Напыление производили электродуговым методом. Исходными материалами являлись проволоки из стали СВ08ГС и алюминия А1. Состав сплава регулировался соотношением диаметров проволок. Исследовались материалы, содержащие 100% алюминия, а также 63% алюминия и 37% стали. Горячая штамповка проводилась при температурах 400<sup>0</sup>С для алюминия и 440<sup>0</sup>С для сталь–алюминия.

В работе исследовали влияние приведенной работы горячего доуплотнения  $W$  на физико-механические свойства горячедеформированного напыленного материала (ГДНМ): плотность  $\gamma$ , относительную плотность  $\theta$ , прочность на срез  $\tau_{ср}$ , а также прочность кольцевых образцов при радиальном сжатии  $\sigma_{рс}$ . Последняя характеристика определялась по специальной методике, рекомендованной для пористых материалов:

$$\sigma_{hc} = 0,954 D H (D - a)/L a^2,$$

где  $D$  – наружный диаметр;  $a$  – толщина стенки;  $L$  – ширина кольца;  $P$  – максимальное усилие разрушения;  $B$  – коэффициент формы кольца.

В результате обработки результатов эксперимента на ПЭВМ с помощью стандартной программы «Statistica» получены зависимости влияния приведенной работы уплотнения на свойства ГДНМ.

Установлено, что с увеличением удельной работы доуплотнения  $W$  плотность возрастает у чистого алюминия с 2,42 до 2,69 г/см<sup>3</sup> (относительная плотность  $\theta = 0,996$ ) при  $W \approx 60$  МДж/м<sup>3</sup>, и у сталь–алюминия с 3,15 до 3,53 г/см<sup>3</sup> ( $\theta = 0,98$ ) при  $W \approx 120$  МДж/м<sup>3</sup>. Более интенсивное уплотнение чистого алюминия связано с его малым сопротивлением пластическому деформированию. При увеличении  $W$  свыше 120 МДж/м<sup>3</sup> для алюминиевого ГДНМ и 160 МДж/м<sup>3</sup> для сталь–алюминиевого наблюдалось некоторое разуплотнение.

Характер зависимостей прочностных характеристик материалов от удельной работы доуплотнения практически совпадает с характером зависимостей уплотнения. Прочность на срез  $\tau_{ср}$  и прочность кольцевых образцов при сжатии  $\sigma_{рс}$  возрастает с увеличением  $W$  и, соответственно, плотности. Величина  $\tau_{ср}$  увеличивается у чистого алюминия с 45 до 90 МПа (при  $W \approx 60$  МДж/м<sup>3</sup>), а у сталь–алюминия с 88 до 105 МПа (при  $W \approx 170$  МДж/м<sup>3</sup>); величина  $\sigma_{рс}$  увеличивается у чистого алюминия со 125 до 305 МПа (при  $W \approx 120$  МДж/м<sup>3</sup>), а у сталь–алюминия с 40 до 210 МПа (при  $W \approx 170$  МДж/м<sup>3</sup>).

Сталь–алюминиевый ГДНМ по прочности на срез превосходит чисто алюминиевый в 1,2...1,4 раза, что совпадает с ранее полученными результатами для ХДНМ, но при этом значительно уступает ему по величине

прочности  $\sigma_{рс}$ . Данный эффект объясняется тем, что нагрев под штамповку в воздушной атмосфере сопровождается окислением материала, причем сталь-алюминий, как установлено, окисляется интенсивнее чистого алюминия. При нагреве также протекают диффузионные процессы между стальной и алюминиевой составляющими с образованием хрупких интерметаллидных фаз. Параметр  $\sigma_{рс}$  структурно чувствительный, так как при радиальном сжатии кольцевых образцов разрушение в опасных сечениях происходит под действием растягивающих напряжений. В связи с этим величина  $\sigma_{рс}$  относительно более хрупкого сталь-алюминиевого ГДНМ оказывается ниже, чем у более пластичного алюминиевого.

Таким образом, горячая штамповка позволяет значительно повысить механические свойства материала заготовок, сформованных напылением. Свойства горячештампованных алюминия и его смесей со сталью при этом приближаются к свойствам литейных алюминиевых сплавов, что позволяет применять данные материалы при более тяжелых условиях эксплуатации, чем пористые напыленные в таких изделиях, как подшипники скольжения, формообразующие детали технологической оснастки для переработки пластмасс и т.д. Выполненные экономические расчеты показали, что технология формования напылением – горячая штамповка может быть более эффективной по сравнению с традиционной технологией порошковой металлургии при производстве малых и средних партий изделий за счет снижения затрат на прессовую оснастку, спекание и среды для защиты при нагреве.

**Ю.Г. Дорофеев, О.Н. Черная, С.Н. Сергеенко**

*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ АКТИВИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ ШИХТ**

Необходимость повышения износостойкости материалов для узлов трения привела к созданию композиционных материалов, поры которых заполнены ситаллизированным стеклом. Для изготовления материалов используются методы порошковой металлургии, которые позволяют синтезировать материалы со специальными свойствами, используя металлические и неметаллические составляющие. Металлостеклянные материалы (МСМ) обычно имеют высокие механические свойства, хорошую коррозионную стойкость, так как открытые поры заполнены стеклом, исключая доступ агрессивных реагентов внутрь материала. МСМ обладают вы-



сокой износостойкостью. В МСМ на железной основе добавки стекла играют роль твердых несущих включений, которые воспринимают на себя основную часть нагрузки, снижая износ матрицы и композиционного материала в целом. Положительными свойствами стекла являются низкий коэффициент трения, отсутствие способности к схватыванию с материалом вала и высокая прочность. Динамическое горячее прессование (ДГП) МСМ уменьшает пористость материала и повышает несущую способность металлического каркаса.

Для уменьшения износа, потерь на трение, предотвращения процессов схватывания и заедания в условиях сухого трения широкое применение получили различные вещества, играющие роль твердых смазок. К числу таких смазок относится фтористый кальций ( $\text{CaF}_2$ ), обладающий высокой химической и термической стабильностью, а также повышенной адгезионной способностью. Композиционные материалы, содержащие  $\text{CaF}_2$ , используются при повышенных температурах, высоких скоростях и различных средах. С целью обеспечения высоких антифрикционных свойств они должны содержать достаточное количество твердой смазки для создания устойчивых разделительных пленок при оптимальном уровне физико-механических свойств несущего металлического каркаса. Это можно достичь благодаря применению ДГП.

Дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), благодаря особой структуре и ряду ценных свойств, таких как высокая адгезия к металлическим поверхностям, низкий коэффициент трения и высокая грузоподъемность, работоспособность в вакууме и другие свойства, находит все более широкое применение в узлах сухого трения. Однако в порошковых самосмазывающихся материалах молибденит как твердая смазка не получил достаточного распространения вследствие трудности сохранения его высоких смазывающих свойств в процессе спекания. Уменьшение продолжительности нагрева перед ДГП позволяет предотвратить или существенно уменьшить вероятность распада  $\text{MoS}_2$ .

Одним из способов повышения физико-механических и эксплуатационных свойств порошковых материалов является механическое активирование порошковых шихт, позволяющее увеличить реакционную способность порошковых материалов и ускорение твердофазных реакций.

Цель работы – оптимизация технологических параметров и химического состава для изготовления подшипников скольжения на основе металлостеклянных активированных порошковых шихт.

В качестве исходных материалов использовали порошки: железо марки ПЖВ 2.200.28 (ГОСТ 9849-86) производства Сулинского металлургического завода, ГК-1 (ГОСТ 4404-78), строительного стекла (ГОСТ 111-90 (СТ СЭВ 5457-85)),  $\text{MoS}_2$  (CAS: 1317-33-5) и  $\text{CaF}_2$  (ГОСТ 7167-77).

Были реализованы следующие способы получения материалов (табл. 1).

1. Механическое активирование (МА) + холодное прессование (ХП) + спекание (СП);
2. МА + ХП + СП + горячая штамповка (ГШ);
3. МА + ХП + ГШ.

Таблица 1

*Варианты технологий получения образцов*

Материал	Технологические параметры получения образцов					
	МА, мин	ХП	СП		ГШ	
		$p_{\text{хп}}$ , МПа	$\tau$ , мин	$t$ , °С	$\tau$ , мин	$t$ , °С
1. Спеченный МСМ	15	600	120	1150	–	–
2. МСМ + CaF <sub>2</sub>	5	600	120	1150	10	1100
3. МСМ + MoS <sub>2</sub>	5	600	–	–	1	1100

Технология изготовления образцов включала: приготовление шихты в планетарной мельнице «САНД–1» в течение 5 и 15 мин при частоте вращения 290 об/мин (диаметр шаров 8 мм и 5 мм при получении спеченных МСМ, отношение массы шаров к массе шихты 3:1 и 2:1); формование заготовки давлением  $p_{\text{хп}} = 600$  МПа; спекание в среде диссоциированного аммиака при температуре 1150 °С в течение двух часов; нагрев в среде диссоциированного аммиака при температуре 1100 °С в течение 10 и 1 мин; ГШ с приведенной работой уплотнения 220 МДж/м<sup>3</sup>.

Триботехнические испытания проводились на машине трения МИ–1 в режиме сухого трения (результаты приведены в табл. 2).

Таблица 2

*Результаты триботехнических испытаний*

Антифрикционные добавки		Триботехнические свойства	
$M_{\text{MoS}_2}$ , % мас.	$M_{\text{CaF}_2}$ , % мас.	Удельный износ $J$ , мм/км	Коэффициент трения $f$
0	0	0,011	0,08
0	2,5	0,015	0,09
0	5,0	0,013	0,09
0	10,0	0,01	0,08
2,5	0	0,01	0,02

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение содержания CaF<sub>2</sub> до 10 % мас. в металлостеклянной шихте не обеспечивает увеличение износостойкости в условиях сухого трения, а введение MoS<sub>2</sub> позволяет снизить коэффициент трения МСМ с 0,08 до 0,02 и является пер-

спективным при создании биметаллических порошковых материалов с повышенными антифрикционными свойствами поверхностного слоя.

На основании ранее полученных экспериментальных результатов влияния технологических параметров на физико-механические и триботехнические свойства была проведена многокритериальная оптимизация и определены оптимальные значения технологических факторов ( $p_{\text{хп}} = 600$  МПа, содержание графита  $M_{\text{гр}} = 1$  % мас., содержание стекла  $M_{\text{ст}} = 6$  % мас., время обработки  $\tau_p = 5$  мин), обеспечивающие получение композиционного материала с повышенными эксплуатационными свойствами. Полученный материал имеет коэффициент трения  $f = 0,08$  и линейный износ  $J = 0,024$ .

В результате проведенных исследований предложены технологии изготовления спеченной детали «подшипник скольжения центробежного насоса» включающие: приготовление шихты в планетарной мельнице «САНД-1» в течение 5 минут; формование заготовки давлением  $p_{\text{хп}} = 280$  МПа; спекание в течение двух часов в среде диссоциированного аммиака при температуре  $1150^\circ\text{C}$ , а также технологии получения инфильтрованных металлостеклянных материалов, включающие формование биметаллической заготовки с легкоплавким поверхностным слоем и ее спекание, совмещенное с пропиткой расплавами на основе меди.

**Л.В. Картонова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **УСКОРЕНИЕ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Как известно, основной недостаток процесса цементации в традиционном исполнении заключается в ее большой длительности. Обычно проведение цементации приводит к перегреву структуры, что сопровождается снижением механических характеристик (кроме твердости), особенно падает ударная вязкость, а также может наблюдаться коробление деталей вследствие обычной ползучести.

В целях ускорения и удешевления длительности процесса цементации, а также для предотвращения чрезмерного роста зерна представляется возможным применение ускоряющего эффекта термоциклирования.

Проведенные исследования показали, что при одновременном использовании активирующих добавок и термоциклирования наблюдается значительное ускорение процесса цементации. С этой целью при цементации в твердом карбюризаторе на основе древесного угля в качестве активирующих добавок лучше использовать углекислый барий ( $\text{BaCO}_3$ ), углекислый натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), ацетат натрия ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) в количестве 5...10% от мас-

сы карбюризатора. Для предотвращения спекания зерен карбюризатора в процессе нагрева можно добавить углекислый кальций ( $\text{CaCO}_3$ ).

Один из предлагаемых нами вариантов технологии ускорения цементации предусматривает проведение термоциклической обработки по следующему режиму: нагрев до  $960...980^\circ\text{C}$  в печи с выдержкой 25...30 минут, охлаждение на воздухе до  $300...350^\circ\text{C}$ , повторный нагрев до  $960...980^\circ\text{C}$  с выдержкой при этой температуре в течение 25...30 мин и охлаждение на воздухе, т.е. включает в себя два цикла без предварительного термоциклирования.

Выбранная нами схема позволяет при малых размерах цементационного ящика вследствие возникающих напряжений получить глубину упрочненного слоя низкоуглеродистой стали  $800...1000$  мкм с концентрацией в цементованном слое  $1,0...1,1\%$ .

Для устранения образующейся карбидной сетки после цементации следует провести нормализацию при температуре  $930...950^\circ\text{C}$ , после чего – обычную закалку с последующим низким отпуском, что обеспечивает получение твердости упрочненного слоя до  $62...64$  HRC при сохранении вязкой сердцевины.

Экспериментальные исследования показывают, что проведение ускоренной цементации позволяет в 2-3 раза сократить продолжительность нагрева изделий в печах.

**В.А. Кечин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Магниевого сплавы являются самым легким конструкционным материалом. Высокая удельная прочность, способность к поглощению ударных и вибрационных нагрузок в сочетании с хорошей обрабатываемостью резанием, обеспечивают отливкам из магниевых сплавов высокую конкурентоспособность среди других широко известных сплавов.

Плотность магниевых сплавов составляет 65% от плотности алюминиевых сплавов и 23% от плотности сплавов на основе железа. При этом удельная прочность литейных магниевых сплавов превосходит в ряде случаев аналогичные свойства алюминиевых сплавов.

Известные физико-механические и технологические свойства магниевых сплавов позволяют получать литьем более тонкостенные отливки (примерно в 1,5 раза), чем из алюминиевых сплавов.

Благодаря вышесказанному применение магниевых сплавов взамен других материалов дает большие технико-экономические преимущества.

Так, использование магниевых сплавов в автомобильной промышленности позволяет значительно уменьшить собственный вес машин и, соответственно, повышает их грузоподъемность и снижает расход горючего.

Помимо технико-экономического эффекта, получаемого при эксплуатации автомобильного транспорта можно получить значительную экономию средств за счет снижения стоимости литья (учитывая малый удельный вес магния). Несмотря на то, что стоимость весовой единицы магния выше чем алюминия, стоимость магниевых отливок, изготовленных литьем под давлением, сравнимы с другими сплавами, благодаря чему в автомобильной промышленности Германии применяют более 40,0 тыс. т магния в год.

Ограничения в применении магниевых отливок, объясняемые их недостаточной коррозионной стойкостью фактически снимаются при использовании высокочистых магниевых сплавов.

Широкое промышленное внедрение технологии получения магниевых сплавов высокой частоты при соответствующей защите магниевых отливок обеспечивают их надежную эксплуатацию.

В сообщении представлены современные достижения и собственные результаты в области производства магниевых сплавов с пониженным содержанием железа и других металлических примесей, газов и неметаллических включений, а также приведены материалы отражающие области применения фасонных отливок и полуфабрикатов полученных из литейных и деформируемых магниевых сплавов.

**Ю.Е. Климов, А.В. Ерёмкин, Д.Н. Веропаха, Н.В. Веропаха,  
Н.В. Шевченко**

*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

### **ПОЛУЧЕНИЕ КОРРОЗИОННО- И ИЗНОСОСТОЙКИХ Порошковых Материалов на основе Железа Методами Нанесения Покровий**

Одним из перспективных направлений для повышения надежности, долговечности, износо-, коррозионной и жаростойкости изделий на основе железа как литых и штампованных, так и порошковых материалов (ПМ), является получение защитных поверхностных слоев.

Порошковая металлургия, как технология создания материалов с заданными свойствами, позволяет формировать фазовые сочетания, которые нельзя получить литьем и штамповкой (твердые сплавы). Основные преимущества технологий порошковой металлургии заключаются в том, что коэффициент использования материала при таком производстве в среднем составляет 0,95, а на выпуск 1 кг изделий тратится около 29 МДж энергии.

Соответствующие показатели для традиционной технологии механической обработки проката находятся в пределах 0,4...0,5 и 66...82 МДж/кг.

Получение защитных покрытий на ПМ, в отличие от монолитных, актуально еще и потому, что при насыщении ПМ более интенсивно протекают диффузионные процессы по поверхности частиц порошка и пор, а также по границам зерен. Диффузия значительно облегчается из-за повышенной дефектности кристаллической структуры ПМ. Поэтому за более короткое время на ПМ образуются диффузионные зоны большей глубины, а также улучшается сращивание слоя с подложкой, по сравнению с насыщением монолитных материалов.

На кафедрах «Технология машиностроения» и «Материаловедение и технология материалов» ЮРГТУ (НПИ) проводятся исследования как в области создания новых порошковых материалов (ПМ) на основе железа, так и в области повышения коррозионно- и износостойких характеристик этих материалов методами получения покрытий различной природы. В частности, разработаны новые технологии диффузионного силицирования, алитирования, хромирования, борирования и получения силикатных покрытий.

Высокотемпературное диффузионное силицирование (ДС) горячедеформированных ПМ на основе железа проводилось в порошкообразной смеси ферросилиция, оксида алюминия и фторида натрия при температуре 1225 °С в течение 2...2,5 ч в контейнере из жаропрочной стали с плавким затвором. Полученные диффузионные слои имеют глубину 400...1000 мкм, содержат 13...15 мас. % кремния и состоят из  $\alpha_1$ - и  $\alpha$ -фаз (кремнистый феррит).

Исследование свойств полученных диффузионных зон показали, что ДС обеспечивает повышение жаростойкости ПМ на основе железа при 800°С, износостойкости в 3...7 раз, коррозионной стойкости в 5...20 раз. Высокая твердость и коррозионная стойкость силицированных материалов обеспечивает не только износостойкость при сухом трении на уровне стали У8, закалённой до 58...62 HRC, но и при трении в агрессивной среде. Износостойкость силицированных ПМ в пресной и морской воде практически одинакова. В то же время износостойкость несилицированных ПМ в морской воде, по сравнению с пресной, в 2...4 раза ниже.

Использование нагрева ПМ токами высокой частоты (ТВЧ) для интенсификации диффузионного хромирования (ДХ) в расплавах солей способствовало получению за время  $\tau = 10...30$  мин при скоростях нагрева  $V = 50...150^\circ\text{C}/\text{с}$  диффузионных слоев толщиной 80...500 мкм (рис. 1, 2, 3 – Режим ДХ:  $t = 1100^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 30$  мин,  $V = 100^\circ\text{C}/\text{с}$ ). По сравнению с ДХ в условиях многочасовой высокотемпературной выдержки в печи время

насыщения сократилось до 20 раз. Концентрация хрома в поверхностных диффузионных зонах образцов, полученных по технологической схеме статическое холодное прессование (СХП) – горячая штамповка (ГШ) – ДХ составляет 12...30%, микротвердость (при содержании углерода в материале 0,4...0,8 мас. %) – 5600...9900 МПа (рис. 2, 3). В состав таких диффузионных слоев входят преимущественно фазы твердого раствора Cr и C в  $\alpha$ -Fe с включениями карбидов  $(Cr, Fe)_{23}C_6$  и  $(Cr, Fe)_7C_3$ , а также мартенситной фазы.

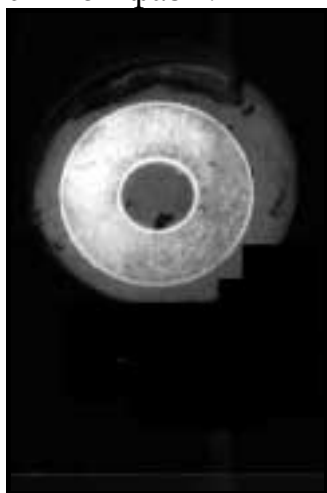


Рис. 1. Микрошлиф образца из порошковой стали 40п, X1,25. Схема: (СХП)-(ГШ)-ДХ

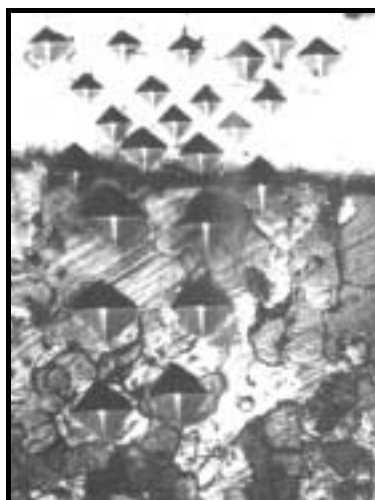


Рис. 2. Микроструктура диффузионного слоя образца из порошковой стали 40п, X400. Схема: СХП-ГШ-ДХ



Рис. 3. Микроструктура диффузионного слоя образца из порошковой стали 80п, X500. Схема: СХП-ГШ-ДХ

Результаты исследований свойств диффузионных зон показали, что износостойкость полученных образцов (при содержании углерода 0,4...0,8 мас.% и более) находится на уровне износостойкости стали ШХ15СГ после закалки, а коррозионная стойкость в 10- и 50%-ных растворах  $HNO_3$  и 30%-ном растворе  $NaOH$  практически не уступает стойкости стали 12Х18Н10Т.

Нами была рассмотрена возможность применения силикатных эмалей в качестве износо- и коррозионностойких покрытий для новых висмутсодержащих ПМ с улучшенной обрабатываемостью резанием. По стандартным методам, используемым в технологии эмалирования компактных сталей, нами были получены силикатные эмалевые покрытия на образцах различных порошковых сталей. Предварительная обработка поверхности материала под эмалирование была значительно упрощена (в сравнении с традиционной), однако полученная композиция «ПМ – силикатное покрытие» отличается высокой прочностью сцепления, что обусловлено близкими значениями температурных коэффициентов линейного расширения сили-

катных эмалей и висмутсодержащих ПМ на основе железа. Кроме того, при исследовании переходного слоя в композиции «ПМ – силикатное покрытие» выявлено положительное влияние висмутовых присадок материала основы на её прочность сцепления с покрытием за счет активного встраивания висмута в структуру эмалей. Установлено также повышение коррозионной стойкости ПМ с эмалевыми покрытиями в слабокислых и соленых средах. Выявлено положительное влияние полученных силикатных покрытий на износостойкость деталей за счёт повышения микротвёрдости поверхности изделий с 1000...1400 МПа (для висмутсодержащих порошковых сталей) до 7300...9100 МПа (для силикатных эмалей). Таким образом, показана перспективность использования силикатных эмалей в качестве коррозионно- и износостойких покрытий, увеличивающих срок службы деталей из ПМ.

Таким образом, разработанные способы получения защитных покрытий являются эффективными путями повышения износо- и коррозионной стойкости ПМ на основе железа.

**А.А. Кодин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ПРОТЯГИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ**

В отечественном и зарубежном машиностроении довольно широко используются различные методы поверхностного пластического деформирования, в частности, пластическое протягивание отверстий (дорнование). Дорны, которые применяются на практике, значительно различаются между собой размерами и формой. Чаще всего используют дорны с конической заборной и обратной частью, со срезанным обратным конусом, сферические, сферические с цилиндрической ленточкой. Причём все эти формы находят применение как в однозубых, так и в многозубых конструкциях. Последнее время для обработки цилиндрических отверстий стали применять секционные дорны, в которых каждая секция (зуб) разбита на несколько секторов, что уменьшает площадь контакта между дорном и обрабатываемой поверхностью; каждая последующая секция расположена так, чтобы перекрывались следы обработки предыдущей секции.

Для секционных дорнов важно (помимо прочего) правильно выбрать два параметра: радиус закругления дорна  $R$  и ширину сектора  $H$ . Ниже приводится расчёт этих двух величин применительно к цилиндрам дизельных двигателей Д21А1.



Для математического описания процесса дорнования в виде регрессионных уравнений использована методика ротатбельного центрального композиционного планирования эксперимента. Для двух факторов уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = a_0 + a_1 R + a_2 H + a_{12} R H + a_{11} R^2 + a_{22} H^2, \quad (1)$$

где  $a_k$  – неизвестные коэффициенты, которые определяются экспериментально, согласно матрице планирования эксперимента: полный факторный эксперимент, опыты в «звёздных» точках, опыты в центре плана.

Как известно, дорнование, обеспечивая высокую точность размеров и формы отверстия, значительно улучшает качество поверхности, создавая упрочнённый слой металла, и как следствие улучшения качества, возрастает износостойкость детали, что для цилиндров двигателей является одной из возможностей увеличить их долговечность. Поэтому в качестве целевой функции оптимизации выбрана толщина упрочнённого слоя  $h$  при ограничениях, наложенными техническими требованиями на изготовление цилиндра Д21А1: овальность отверстия цилиндра  $O_b \leq 0,02$  мм, шероховатость рабочей поверхности цилиндра  $0,16 \text{ мкм} \leq R_a \leq 0,32$  мкм.

Интервалы варьирования факторов  $R = 2, 3, \dots, 8$  мм,  $H = 2, 3, \dots, 8$  мм.

Таким образом, имеем целевую функцию

$$h = f(R, H)$$

и ограничения

$$\begin{aligned} O_b = f_1(R, H) &\leq 0,02 \\ 0,16 \leq R_a = f_2(R, H) &\leq 0,32. \end{aligned}$$

Или, с учётом формулы (1),

$$\begin{aligned} h &= a_0 + a_1 R + a_2 H + a_3 R H + a_4 R^2 + a_5 H^2, \\ O_b &= a_{11} + a_{12} R + a_{13} H + a_{14} R H + a_{15} R^2 + a_{16} H^2 \leq 0,02, \\ 0,16 \leq R_a &= a_{21} + a_{22} R + a_{23} H + a_{24} R H + a_{25} R^2 + a_{26} H^2 \leq 0,32. \end{aligned} \quad (2)$$

В результате эксперимента определяются неизвестные коэффициенты при варьируемых факторах (часть из них оказались незначимыми и были исключены из формул), что конкретизирует зависимости (2):

$$\begin{aligned} h &= 0,481 - 0,0499 R + 0,0386 H + 0,0499 R^2 - 0,00386 H^2; \\ O_b &= 2,475 - 0,0125 R - 0,0375 H + 0,0025 R H + 0,0025 H^2 \leq 0,02; \\ 0,16 \leq R_a &= 0,887 + 0,0416 R - 0,0568 H - 0,005 R H - 0,0029 R^2 + \\ &\quad + 0,0097 H^2 \leq 0,32. \end{aligned}$$

Оптимальную величину толщины упрочнённого слоя  $h$  при соответствующих ограничениях найдём методом неопределённых множителей Лагранжа. Для этого составляем вспомогательную функцию:

$$F = f(R, H) + \lambda_1 f_1(R, H) + \lambda_2 f_2(R, H),$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – множители Лагранжа. Определим следующие частные производные и приравняем их к нулю:

$$\frac{\partial F}{\partial R}=0; \quad \frac{\partial F}{\partial H}=0; \quad \frac{\partial F}{\partial \lambda_1}=0; \quad \frac{\partial F}{\partial \lambda_2}=0. \quad (3)$$

Зависимости (3) представляют собой систему четырёх нелинейных уравнений с четырьмя неизвестными  $R$ ,  $H$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Решив (3) методом Ньютона, получаем  $R = 5,2$  мм,  $H = 4,9$  мм. Очевидно, на практике можно принять  $R = H = 5$  мм.

**А.А. Кодин, В.Г. Кузеванов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ВТУЛОК**

Одним из технологических методов, обеспечивающих повышение качества и, как следствие того, долговечности деталей машин является поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое часто применяют для окончательной механической обработки.

Методы ППД способны обеспечить шероховатость обработанной поверхности в пределах  $R_a = 1,25...0,02$  мкм при уменьшении высоты микронеровностей по сравнению с исходной на 2...5 классов; при этом твёрдость материала детали возрастает на 30...40%, микротвёрдость на 50%. Как следствие улучшения качества поверхностного слоя деталей, увеличивается на 30...70% их износостойкость. Кроме того методы ППД обеспечивают точность размеров по 6...7 квалитету, увеличив точность предварительной обработки на 30...60%; точность формы отверстий увеличивается на 40...50%, отклонение профиля продольного сечения уменьшается в 2...3 раза даже для деталей неравномерной жёсткости. Следует отметить, что замена финишной абразивной механической обработки (шлифование, притирка и прочее) методами ППД исключает шаржирование поверхности детали зёрнами абразива, что иногда является решающим фактором для ряда деталей. Производству ППД тоже даёт существенную экономию за счёт: а) увеличения производительности труда в 1,5...10 раз, б) сокращения отходов металла в стружку на 10...25%, в) уменьшения расходов на инструмент, электроэнергию, амортизацию оборудования.

В цехе наплавки Владимирского вагонного депо специалистами Владимирского государственного университета проведены эксперименты по замене операции притирки пластическим выглаживанием твёрдосплавным инструментом втулок из композиционного сплава, установленных на двух расточных станках мод. 2А-614-1 в паразитных шестернях. На станках обрабатываются крупногабаритные детали после наплавки изношенных поверхностей. Эти поверхности имеют повышенную твёрдость, значитель-

ные отклонения по размерам. В результате этого все узлы станков работают в тяжёлых условиях. Применение пластического выглаживания повысило износостойкость втулок в несколько раз.

**А.М. Козлов, В.В. Ефремов, О.А. Пономарев**

*Россия, г. Липецк, ЛГТУ*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В процессе эксплуатации узла при контакте трущихся поверхностей неизбежен износ. На интенсивность износа и его характеристики влияют: качество контактирующих поверхностей (шероховатость, маслосъемность, твердость и т.д.), наличие и свойства смазки, нагрузка или давление, при котором происходит процесс, а также направление микронеровностей шероховатых поверхностей относительно направления движения.

В последнее время все больше внимания уделяется разработке компьютеризированных систем для контроля параметров шероховатости поверхностей [1]. Однако такие системы позволяют работать с уже обработанной поверхностью и не дают возможности прогнозировать параметры шероховатости поверхности. Вместе с тем, моделирование шероховатой поверхности для расчета характеристик контакта позволило бы сократить время и затраты на обработку детали.

Нами разработана модель, позволяющая: а) моделировать шлифованную поверхность; б) рассчитывать и подбирать наилучшие условия контакта и параметры шероховатости взаимодействующих поверхностей еще на стадии проектирования. Последовательность моделирования такова:

1. *Моделирование процесса шлифования* [3]. Модель учитывает кинематику и режимы процесса обработки, свойства материалов инструмента и обрабатываемой детали, условия процесса шлифования.

В результате получают массив данных, представляющий собой координаты высоты профиля во всех точках моделируемого фрагмента поверхности. Моделирование позволяет получить все параметры шлифованной поверхности: характеристики профиля поверхности в различных направлениях измерения; характеристики поверхности в целом (например, маслосъемность и ее изменение при любом сближении с абсолютно гладкой поверхностью; опорную кривую всей поверхно-

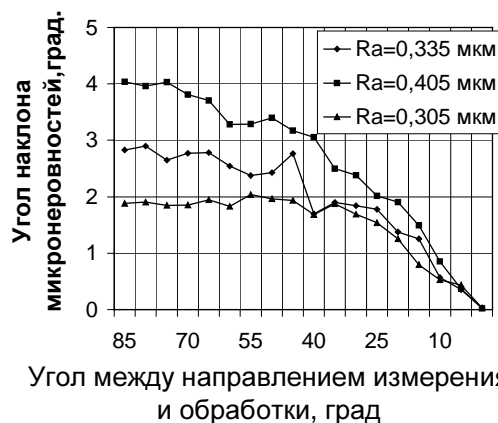


Рис. 1. Зависимость угла наклона микронеровностей от направления измерения

сти, и т.д.). Следует отметить, что модель дает возможность проследить – в зависимости от направления измерения – изменение такого важного при контакте параметра профиля шероховатой поверхности, как угол наклона микронеровностей (рис. 1).

2. *Моделирование контакта* с учетом наличия смазки и взаимного направления микронеровностей относительно направления движения.

Разработанная модель позволяет рассчитать: значение фактической площади контакта; объем зазора между поверхностями; изменение этих параметров в процессе сближения контактирующих поверхностей (рис. 2).

Особенностью предлагаемой модели является возможность учитывать взаимное расположение микронеровностей; это позволяет прогнозировать в зоне контакта закрытие масляных карманов, при котором невозможно выдавливание смазки по впадинам микронеровностей при дальнейшем увеличении нагрузки. Разработанная программа позволяет рассчитывать давление на взаимодействующие поверхности, при котором (если считать смазку абсолютно несжимаемой жидкостью) не будет происходить сближения поверхностей при увеличении нагрузки.

Моделирование контакта шероховатых поверхностей предлагаемым способом позволяет рассчитывать угол  $\gamma$  нагнетания смазки во впадины микрорельефа контактирующих поверхностей (рис. 3). Угол нагнетания оказывает влияние на образование масляного клина [2], от которого зависят коэффициент трения и тепловые характеристики процесса. Определение величины угла нагнетания в зависимости от взаимного направления микронеровностей дает возможность подбирать смазку с оптимальными свойствами.

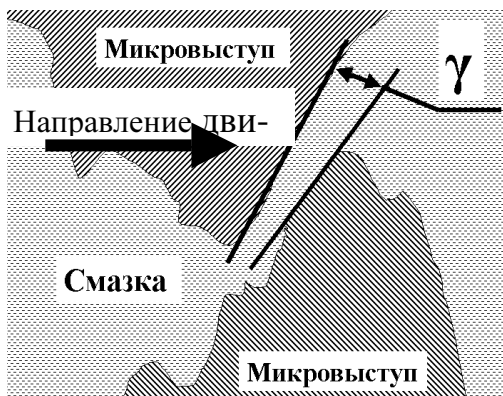


Рис.3. Угол нагнетания

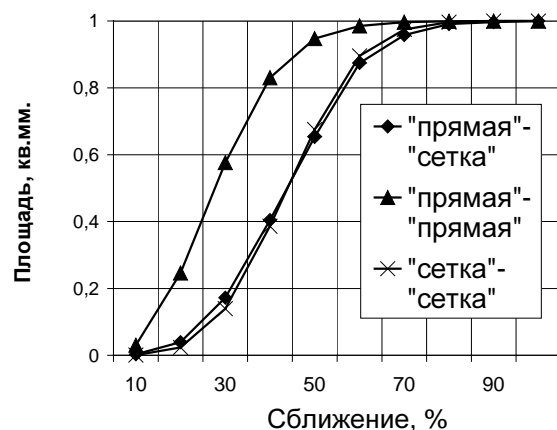


Рис. 2. Нарастание площади контакта при сближении для поверхностей с различными типами микронеровностей.

Диаграмма (контакт поверхностей с  $Ra = 0,45$  мкм и  $Ra = 0,33$  мкм) позволяет предположить, что при определенном сочетании направления микронеровностей нагнетание смазки будет происходить в сторону одной из поверхностей (положительные значения  $\gamma$  – нагнетание происходит в сторону поверхности с большей

шероховатостью, отрицательные – с меньшей).

Таким образом, описываемая методика моделирования позволяет строить технологический процесс обработки деталей, исходя из условий и свойств контакта. Модель позволяет еще на стадии проектирования:

- назначать рациональные параметры шероховатости поверхности;
- с учетом кинематики процесса обработки строить технологический процесс обработки детали с целью обеспечения наилучшего взаимного направления микронеровностей;
- прогнозировать величину фактической площади контакта, объем зазора в области контакта в процессе сближения взаимодействующих поверхностей в зависимости от параметров шероховатости обработанной поверхности и относительного расположения микронеровностей;
- подбирать для данного случая контакта смазку с наиболее подходящими характеристиками (вязкость, устойчивость к повышенному давлению).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Frankowski G., Schillke F. Oberflächprüfung mittels computergestützter Lasermeßtechnik // Maschinenbautechnik, Berlin. – 1990. – V. 2. – S. 80–83.
2. Кревсун Э.П., Лукашевич А.В., Михалычев Б.Н., Сафонов С.П. Сравнение экспериментальных характеристик пар трения с различной шероховатостью поверхностей при гидродинамическом режиме смазки // Трение и износ. – 1983. – № 5. – С. 779.
3. Козлов А.М., Ефремов В.В. Моделирование рельефа шлифованной поверхности // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. тр. науч. конф. – Волжский, 2000. – С. 222.
4. Демкин Н.Б. Модель трения при упругопластическом контакте // Трение и износ. – 2000. – № 2. – С. 115.

**С.В. Конанков**

*Россия, г. Ковров, Филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева – КБ «Арматура»*

### **МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИДРОПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК**

В настоящее время в условия рыночной экономики во всех отраслях народного хозяйства стало актуальным внедрение современных ресурсосберегающих технологии. Одним из направлений при решении данной проблемы является широкое внедрение современных технологий для большой номенклатуры типовых деталей агрегатов и систем.

Типовыми деталями систем газоснабжения ракетно-космических комплексов являются различного вида фитинги – тройники, крестовины, угольники. В последние годы широко внедряется наиболее перспективная технология изготовления фитингов – гидропластическое формообразование из трубных заготовок. Данный процесс характеризуется достаточно низкими показателями по трудоемкости, металлоемкости и себестоимости.

Для достижения достаточно высокого качества деталей, получаемых гидропластическим деформированием из трубных заготовок, необходимо обеспечить наиболее рациональную схему нагружения заготовки, что возможно, если будут реализованы оптимальные параметры деформирования. Определение энергосиловых параметров процесса формообразования осуществляется на основе анализа напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформаций.

В докладе приведены основные положения методики математического моделирования технологического процесса, которое осуществляется с учетом комплексного действия внешних сил на заготовку, что позволяет более качественно проводить расчет параметров процесса и учитывать возможное проявление дефектов у деталей.

**Ю.С. Кустарев, В.В. Кузнецов, К.П. Родькин**

*Россия, г. Москва, МГТУ «МАМИ»*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОАККУМУЛИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

В последние годы за рубежом и в нашей стране уделяют пристальное внимание использованию в энергетике т.н. энергоаккумулирующих веществ. Однако при их исследовании выявилась многообещающая возможность их применения и в технологии машиностроения – для газотермического нанесения оксидных и металлооксидных покрытий на тяжело нагруженные детали и узлы машин.

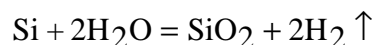
В нашем случае под энергоаккумулирующими веществами понимают сплавы металлов, полученные восстановлением природных окислов и способные при окислении отдавать энергию. Исходным сырьем для получения энергоаккумулирующих веществ (ЭАВ) являются золяношлаковые отходы ТЭЦ, отвалы пустой породы угольной промышленности. Эти отходы состоят в основном из окислов кремния и алюминия, а также включают в себя некоторое количество окислов кальция и др. элементов.

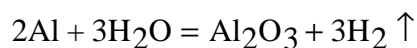
После восстановления в руднотермической печи получают сплав ЭАВ, содержащий кремний, алюминий и добавки кальция и проч. Конкретный состав ЭАВ зависит от данного угольного месторождения. Особенно богаты исходным сырьем для получения ЭАВ многочисленные и обширные у нас месторождения бурого угля – Канско-Ачинский бассейн. Подмосковные месторождения, Экибастузский бассейн и др. Выплавка опытных партий ЭАВ освоена отечественной металлургией еще в 80-х годах (Челябинский металлургический комбинат).

В качестве ЭАВ могут рассматриваться и выпускаемые промышленностью металлические порошки: алюминиевые, кремниевые, алюмомагниевые, титановые и др., а также их композиции.

Схема применения ЭАВ для напыления оксидов показана на рис. 1.

Исходными материалами для процесса являются мелкодисперсный порошок ЭАВ и вода. В требуемых количествах эти материалы подаются в камеру сгорания, причем вода предварительно пропускается через рубашку охлаждения камеры, где превращается в перегретый пар и в таком виде уже поступает в зону горения камеры. При сгорании порошка ЭАВ в среде водяного пара имеют место экзотермические реакции (для основных компонентов ЭАВ):





Реакции идут с большим выделением тепла и получаемые продукты - окислы и водород – имеют адиабатную стехиометрическую температуру 2500...2700 К. Однако часть выделяющегося тепла забирается на производство перегретого водяного пара, поэтому реальная температура продуктов реакции составляет около 2000 К. При этом обеспечивается естественный полный прогрев реагирующих частиц.

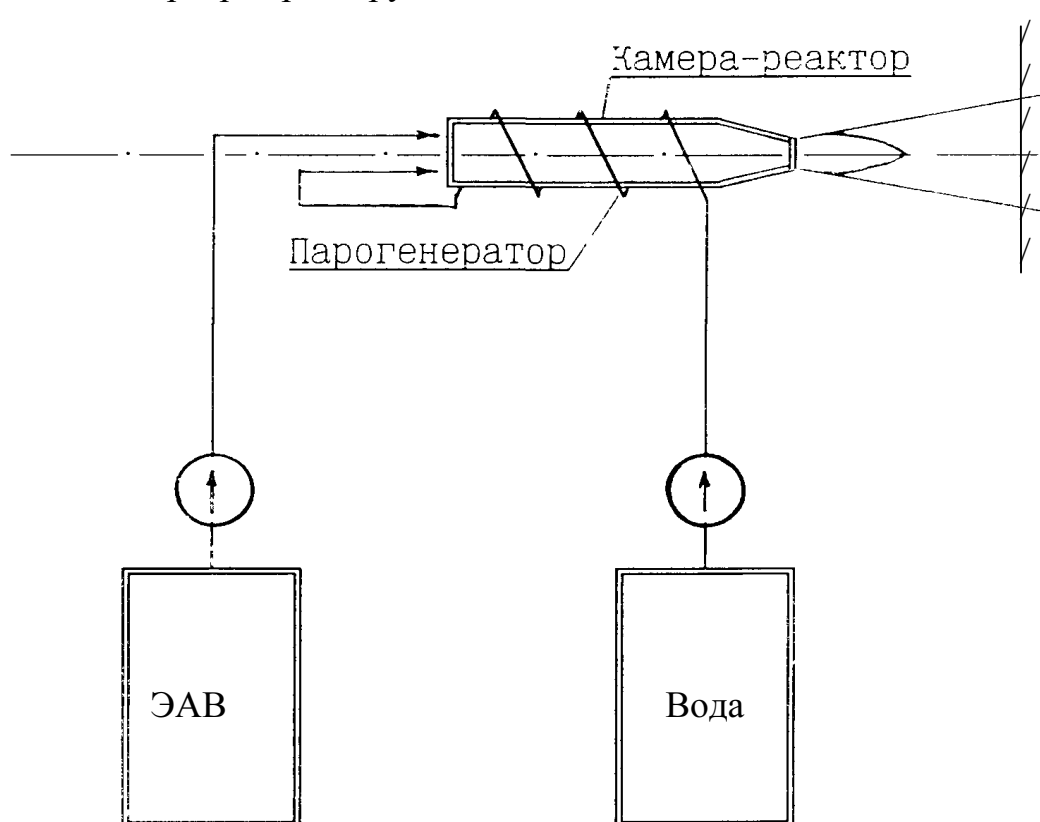


Рис. 1. Схема способа нанесения покрытий на основе ЭАВ с помощью водорода

Высокотемпературный поток газовой взвеси (окисидные частицы и водород) направляется с большой скоростью (до и более 1000 м/с) через сопло (распылительную головку) в зону дополнительного нагрева за срезом сопла, где происходит сгорание высокотемпературного водорода в воздухе. При этом температура частиц напыляемых оксидов возрастает и достигает 3000 К, что превышает температуру их плавления. Покрытие формируется из частиц, находящихся в расплавленном состоянии.

Исследовалось горение порошкообразных энергоаккумулирующих веществ в воздушной окислительной среде. В качестве устройства для горения использовалась модельная камера сгорания, в которую подавались порошок ЭАВ и газообразный окислитель. В составе продуктов сгорания



основными составляющими являются конденсированные окислы алюминия и кремния и молекулярный азот.

Анализ конденсированных продуктов сгорания свидетельствует о существенном влиянии фракционного состава исходного ЭАВ на полноту реакции окисления содержания непрореагировавшего металла в продуктах сгорания ЭАВ.

Результаты, представленные на рис. 2 и 3, получены рентгенофазовым анализом продуктов сгорания ЭАВ при сжигании энергоаккумулирующих веществ промышленного состава при значении коэффициента избытка окислителя  $\alpha \approx 1,5$ .

Состав конденсированной фазы продуктов сгорания энергоаккумулирующих веществ оказывает существенное влияние на состав и свойства материала наносимого покрытия. Проведенные исследования содержат данные для рационального проектирования горелочного устройства, работающего на ЭАВ.

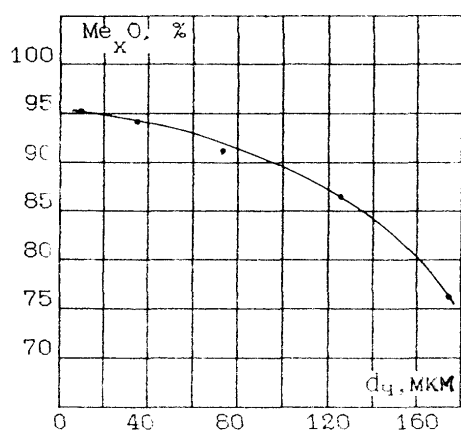


Рис. 2. Полнота сгорания ЭАВ

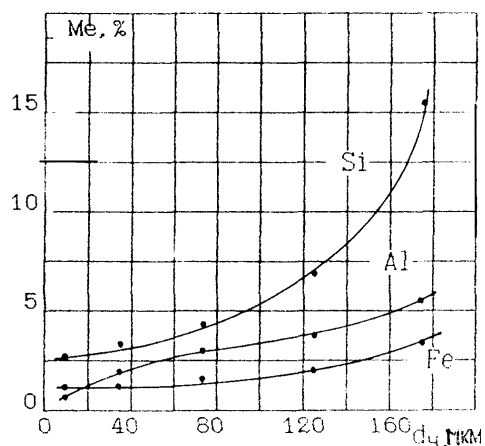


Рис. 3. Содержание исходных элементов в продуктах сгорания ЭАВ

Выполненные опыты показали осуществимость и эффективность рассматриваемого технологического процесса.

**В.П. Легаев, С.И. Вдовин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ АЭРОСТАТИЧЕСКОЙ ОПОРЫ С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В связи с современным развитием и повышением эффективности и качества во всех отраслях народного хозяйства встает задача создания высокопроизводительных станков и агрегатов.

Одним из наиболее точных узлов станков является шпиндельный узел. Повышенный интерес к созданию новых конструкций шпиндельных узлов определяется тем, что их точность, надежность и долговечность определяют соответствующие качества машины в целом. Современные требования к точности некоторых типов станков столь высоки, что создание приемлемой конструкции шпиндельного узла на традиционных опорах качения и скольжения является задачей довольно сложной, а иногда просто невыполнимой.

В настоящее время одним из путей этой задачи состоит в применении аэростатических опор, смазка которых осуществляется сжатым воздухом. Эти опоры обладают высокой точностью и практически не изнашиваются. Наиболее перспективно применение аэростатических опор в прецизионных станках – шлифовальных и алмазно-расточных, в приборах для контроля точности изделий – кругломерах и координатно-измерительных машинах, а также в установках для воспроизведения параметров движения (образцовых центрифугах).

В обрабатывающих станках значения сил резания постоянно меняются, что влияет на точность обработки. Для компенсации этих погрешностей применяются специально разрабатываемые адаптивные системы, анализ которых показывает, что газовая опора при размещении в ней шпинделя должна быть управляемой газостатической опорой, в которой возможно перемещение шпинделя в пределах части рабочего зазора по заданному закону за счет перепада давлений в радиальном направлении, и выполнять функции привода микроперемещений с применением регуляторов, управляемых по положению подвижного элемента (шпинделя).

Авторами предлагается эффективным использовать САУ с использованием пьезоэлектрических преобразователей, в качестве управляемых пневмосопротивлений, и поворотной втулки для совмещения плоскости радиального смещения шпинделя с продольной осью одного из жиклеров [1]. Управление положением вала в данной системе осуществляется соответствующим изменением расхода смазки через пневмосопротивление типа сопло-заслонка.

Для расчета данной физической модели необходимо решить систему уравнений, основанной на равенстве расходов через дроссель типа сопло-заслонка и питатели, с расходом через щель, образованную шипом вала и подшипником. Для этого необходимо решить уравнение Рейнольдса распределения давления в смазочном слое для аэростатического подшипника.

Для аэростатического подшипника в стационарном режиме работы уравнение распределений давлений имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[ H^3 \frac{\partial (\tilde{P}^2)}{\partial \vartheta} \right] + H^3 \frac{\partial^2 (\tilde{P}^2)}{\partial \xi^2} = 0, \quad (1)$$

где  $0 \leq \vartheta \leq 2\pi$ ;  $\xi = z/r$ ;  $H = 1 - \varepsilon \cos \vartheta$ ;  $\tilde{P} = p/p_s$ .

Возможность решения такого уравнения основана на том, что при малых  $\varepsilon$ , имеющих место в аэростатических опорах, приращения кругового и осевого потоков являются величинами одного порядка. Поэтому решение уравнения нужно искать в форме

$$\tilde{P}^2 = \bar{P}^2 + \varepsilon \cdot \tilde{p}^2, \quad (2)$$

где  $\bar{P}$  – функция давления при нулевом смещении оси вала, зависящая поэтому только от  $\xi$ ;  $\tilde{p}$  – неизвестная функция  $\vartheta$  и  $\xi$ .

Этим линеаризуется уравнение (1), что позволяет найти аналитическое выражение функции  $\tilde{p}$ , после чего удельная подъемная сила определяется двойным интегралом по  $\vartheta$  и  $\xi$  от приращения  $\Delta \tilde{P}$ , пропорционального  $\varepsilon$ .

Это, в свою очередь, позволит найти необходимую величину приращения расхода смазки через каждое сопло, необходимое для смещения шипа вала в положение  $\varepsilon = 0$ .

На величину погрешности вращения вала, кроме внешних нагрузок, влияют также такие параметры подшипника, как форма вала, форма отверстия и система поддува. Поскольку точность изготовления вала и подшипника ограничены технологическими параметрами обработки, наиболее целесообразным, для уменьшения данной погрешности, представляется применение наиболее рациональной системы поддува. В качестве идеальных можно принять щелевую систему или систему поддува через пористую вставку. Однако на практике такие системы используют крайне редко из-за сложности их изготовления. Поэтому применяется циркулярная система поддува, в которой щель заменяется рядом питающих отверстий. Очевидно, что чем больше отверстий в ряду, тем ближе данная система к идеальной, соответственно выше точность вращения вала. Но при увеличении питающих отверстий их размер должен уменьшаться; отсюда следует, что их количество ограничено по технологическим соображениям.

Для повышения эффективности системы поддува целесообразно применять микроканавки, выполненные на поверхности втулки. Применение микроканавок позволяет значительно (более чем на 15%) повысить жесткость опоры [2]. Уменьшение давления воздуха вдоль микроканавок и по ширине рабочего зазора создает области различной жесткости, вследствие чего повышается виброустойчивость. Однако с увеличением глубины мик-

роканавки градиент давления вдоль нее уменьшается, что чревато появлением неустойчивости типа «пневмомолотка». На практике для устойчивой работы опоры принято принимать объем канавки в 4...5 раз меньшим объема зазора между опорой и подвижной частью [2].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Легаев В.П., Гавшин В.В. Газовые опоры станков и приборов / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1996. – 224 с.
2. Шейнберг С.А. и др. Опоры скольжения с газовой смазкой. – М.: Машиностроение, 1970. – 336 с.

**В.П. Легаев, С.И. Вдовин, А.А. Богомолов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### АЭРОСТАТИЧЕСКАЯ ОПОРА

В последнее время аэростатические опоры достаточно часто используются в различных станках и приборах, но несущая способность и жесткость их относительно низка по сравнению с гидростатической опорой или подшипником качения. Для достижения максимально возможной жесткости, несущей способности и высоких динамических характеристик предлагается использовать аэростатическую опору с системой автоматического регулирования расхода смазки через питатели и поворотной втулкой для совмещения оси питателя с плоскостью приложения нагрузки (Легаев В.П. и др. АС №2127377 F16 С 32/06).

Привод поворота втулки состоит из зубчатой передачи и электромотора с редуктором. Система автоматического регулирования обрабатывает информацию с датчиков и выдает аналоговые сигналы управления на привод поворотной втулки и регулируемое пневмосопротивление.

Для улучшения динамических характеристик и надежности предлагается в качестве привода поворотной втулки использовать шаговый двигатель.

Это, во-первых, существенно снизит затраты времени на поворот втулки, так как переходные режимы работы шаговых двигателей (пуск, ускорение, замедление, реверс) являются основными эксплуатационными режимами, поэтому к ним предъявляются повышенные требования. Значительно повышается точность поворота, так как шаговые двигатели имеют строго фиксированный дискретный шаг.

Во-вторых, применение шагового двигателя упрощает структурную схему автоматического управления, облегчает её анализ, удешевляет и увеличивает надежность.

Ротор шагового двигателя закрепляется при помощи шпоночного соединения непосредственно на поворотной втулке. Управление положением втулки осуществляется через систему автоматического управления (САУ).

Устройство управления, входящее в состав САУ, анализируя совокупность поступающих с датчиков сигналов, по заложенному алгоритму определяет несоответствие оси питателей с плоскостью нагрузки и подает управляющий сигнал для их совмещения. При этом САУ отслеживает положение втулки, тем самым, предотвращая опасность перекрытия всех сопел питателей при превышении предельно-допустимого угла поворота.

**В.П. Легаев, С.В. Федоров, С.И. Вдовин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ЛАЗЕРНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА И АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ**

Лазерный доплеровский анемометр (ЛДА) является оптической техникой, позволяющей измерять скорость потока в определенной точке. С момента опубликования первой работы на эту тему было выполнено множество исследований, как в области техники ЛДА, так и в области теоретического анализа. Принцип действия ЛДА заключается в фокусировке двух когерентных лазерных лучей в точке потока, где необходимо определить его скорость. В точке пересечения лазерных лучей создается интерференционная картина, и частицы, взвешенные в потоке, проходя через полосы интерференции, рассеивают свет, излучаемый лазерами. Этот рассеянное излучение содержит в своих параметрах всю информацию о потоке, будучи зафиксировано как доплеровский сигнал. Полученный сигнал можно проанализировать тремя способами: спектральный анализ, метод отслеживания частоты и, наконец, метод фотонной корреляции.

С некоторых пор техника ЛДА применяется для измерения мгновенных скоростей частиц, взвешенных в потоке, что позволяет проводить подобные исследования при наличии комплексных звуковых полей, что чрезвычайно важно в условиях сложных систем. Техника спектрального анализа и фотонной корреляции не способна анализировать сигнал с более чем одной звуковой составляющими, поэтому в случае наличия комплексных звуковых полей используется недавно разработанный метод отслеживания частоты. Эта методика позволяет проводить мгновенное измерение скорости потока, производя фиксацию частоты, амплитуды и мгновенной фазы различных компонентов получаемого сигнала.

Звуковые волны создают в среде распространения зоны сжатия и разрежения, которые благодаря акустооптическому эффекту вызывают вари-

ции индекса рефракции. Лазерный луч, проходя через эти анизотропные области, изменяет оптическую длину пути. Вследствие этого интерференционная картина, возникающая в области пересечения двух лазерных лучей, становится подвижной. Таким образом, возникает два механизма движения, которые необходимо учитывать при использовании ЛДА в условиях комплексных звуковых полей. Во-первых, осцилляция взвешенных частиц вследствие звуковых полей и, во-вторых, осцилляция интерференционных полос, вызываемая изменяющейся разностью фаз, существующей между двумя лазерными лучами. При анализе доплеровского сигнала, в случае доминирования акустооптического эффекта, определяемая частота будет в основном определяться осцилляцией интерференционной картины и, таким образом, полученная мгновенная частота будет характеризовать акустические волны в точке пересечения лазерных лучей.

**В.А. Лешина**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ТУГОПЛАВКИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Последнее десятилетие отмечается проникновением неметаллических материалов, обеспечивающих прочность и несущую способность конструкционного узла при различных температурах и в сложном сочетании силовых и тепловых воздействий в самые современные области машиностроения.

Высокотемпературный нагрев приводит к возникновению термических напряжений, снижающих упругие и прочностные характеристики традиционных материалов. В конструкциях, подвергаемых высокотемпературному одностороннему нагреву, в качестве теплозащитных материалов несущих элементов успешно используют стеклокристаллические материалы и композиты на их основе, прочность и вязкость разрушения которых не уменьшается при температурах до 1100...1250°C.

Повышение прочности и ударной вязкости стеклокристаллических материалов достигается несколькими способами: ориентированной кристаллизацией стекол с образованием цепочечных и волокнистых структур под воздействием градиента температур, растяжением кристаллизующегося материала на стадии зародышеобразования, ионным обменом, а также введением армирующей добавки, т.е. созданием композитных материалов.

В качестве армирующих материалов использовали кристаллические волокна  $ZrO_2$ , SiC. В таблице приведены физико-химические свойства

стеклокристаллических материалов на основе диоксида, содержащих  $ZrO_2$ , SiC и без них.

Свойства	Составы			
	1	2	3	4
1. Температура обжига, °С	1450	1500	1500	1540
2. Ударная вязкость, кН/м	2,5	3,5	3,0	3,9
3. Жаропрочность под нагрузкой 1 МПа, °С	1150		1250	
4. Прочность при изгибе, МПа	200	260	220	280
5. Термостойкость, °С	600	650	750	770

Введение армирующих добавок, обладающих высоким модулем упругости, повышает прочность на изгиб, ударную вязкость, однако при этом возрастает температура спекания материала.

**В.А. Лешина, А.Н. Мимеев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В конструкциях, подвергаемых высокотемпературному одностороннему нагреву, в качестве конструкционных материалов для несущих элементов, успешно используют стеклокристаллические материалы. Прочность их обусловлена наличием однородной тонкозернистой микроструктуры, характеризующейся радиальным растягивающим напряжением в кристаллической и стекловидной фазах. Образование микронапряжений способствует возникновению и увеличению микротрещин в стеклофазе.

Испытания кордиеритовых стеклокристаллических материалов показали наибольшее значение прочности на изгиб в составах, в которых запроектирована стеклофаза с термическим коэффициентом линейного расширения (ТКЛР), близким к ТКЛР кордиерита.

Напряжения, возникающие в многофазных материалах вследствие различия в ТКЛР, влияют на прочностные характеристики с изменением температуры.

На рисунке представлена зависимость изменения прочности при изгибе стеклокристаллического материала системы  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  с повышением температуры. Снижение прочности обусловлено фазовыми переходами кристаллической фазы.

Состояние поверхности стеклокристаллических материалов, полученных по стекольной технологии, незначительно влияет на снижение прочности с увеличением температуры, а в стеклокристаллических материалах, синтезированных из порошков стекол, находится в прямой зависимости.

Это обусловлено одновременным протеканием процессов спекания и кристаллизации, способом формования изделий, которые определяют формирование поверхностного слоя.

**В.А. Лешина, Е.В. Миронова**

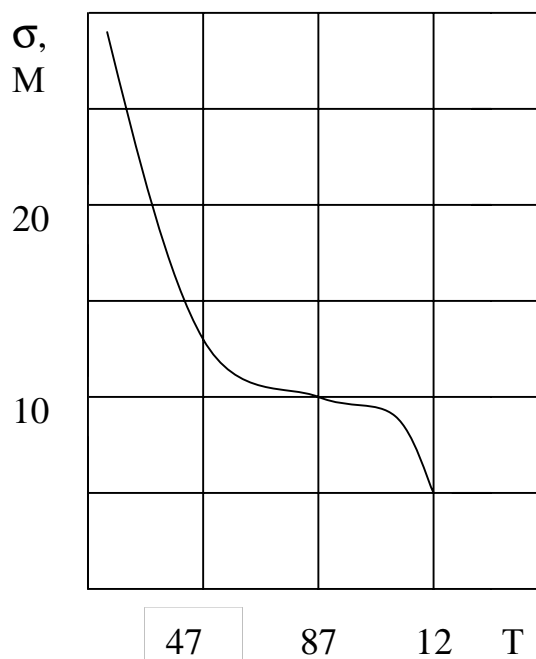
*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### МАШИНООБРАБАТЫВАЕМАЯ СТЕКЛОКЕРАМИКА

Одним из перспективных стеклокристаллических материалов в машиностроении являются слюдоситаллы на основе фторфлогопита  $R_2O \cdot 4RO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2RF_2$ . Материал обрабатывается на стандартном металлообрабатываемом оборудовании, так же легко, как и обычные металлы, доводится до точных допусков. Он может подвергаться сверлению, нанесению резьбы, шлифованию и т.п.

Скорость обработки материала определяется микроструктурой слюдоситалла: формой, размером и взаимным расположением кристаллов фторфлогопита (синтетической слюды). Равномернозернистая, сблокированная, крестовидная и перекрестная структура, состоящая из игольчатых кристаллов длиной 10...30 мкм и шириной 1,5...2 мкм фторфлогопитового твердого раствора, обуславливает легкость обработки материала.

Разрушение материала происходит по границе раздела фаз: кристаллической и остаточной стеклофазы, а также по плоскости скалывания слюды.





Решающее влияние на свойства и механическую обрабатываемость стеклокристаллического материала оказывают химический состав и температурно-временные условия термической обработки. Количество основной стеклокристаллической фазы фторфлогопитового твердого раствора по данным количественного рентгенофазового анализа составляет 50...65%.

Термическая обработка проводится по следующему режиму: скорость подъема температуры 100...180 °/ч, выдержки составляют 4...6 ч при температурах 700...1000°C.

Слюдopodobные стеклокристаллические материалы характеризуются следующими физико-химическими свойствами: плотностью 2595...2600 кг/м<sup>3</sup>, прочностью на изгиб 80...90 МПа, прочностью на сжатие 200...210 МПа, ударной вязкостью 3 кДж/м<sup>2</sup>, термостойкостью 750°C.

Подбор соответствующей стеклофазы в системе RO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> обеспечивает хорошие диэлектрические свойства, вакуумплотность стеклокристаллического материала.

**В.М. Медунецкий**

*г. Санкт-Петербург, СПБИТМО (ТУ)*

### **МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ МЕТАЛЛО-КОМПОЗИЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ПРИМЕРЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ**

Постоянное требование совершенствования механизмов и приборов вынуждает искать новые подходы к проектированию и конструированию механических узлов и деталей с учетом появляющихся материалов с новыми свойствами и технологиями их получения. Объективная необходимость улучшения качественных показателей механизмов (повышение надежности, работоспособности и долговечности) и увеличение нагрузочной способности их элементов при уменьшении габаритно-весовых показателей заставляет определять рациональные пути применения неметаллов с высокими, – прежде всего, прочностными – характеристиками и экономически выгодными технологическими процессами их изготовления. Однако прежние взгляды и подходы к конструированию механизмов, содержащих детали, выполненные по известным типовым схемам, но из новых композиционных материалов, в большинстве случаев не являются оптимальными. Ряд конструкторских задач можно решить на достаточно высоком уровне, если использовать в механизмах так называемые оболочковые детали. Особенностью таких деталей является то, что внешняя их поверхность представлена в виде металлической оболочки. В таком варианте

можно тело детали подбирать из композиционного материала по требуемым физико-механическим параметрам, обеспечивающим прочность детали как таковой, а внешнюю часть – в виде оболочки с той поверхностью, которая позволяет получить функциональный результат при сопряжении с другой поверхностью сопрягаемой детали. Таким образом, внешняя оболочка служит для того, чтобы обеспечить внешние формы детали с достаточной геометрической точностью исполнения. Развертка оболочки (прежде всего, желательно в виде тонкой плоской заготовки) обеспечивает возможность нанесения на ее поверхность (плоскость) антифрикционного покрытия или соответствующего микрорельефа. Фиксация заданной формы оболочки осуществляется наполнением внутренней полости композиционным материалом. Такие оболочковые детали можно выполнять с армирующими элементами, которые также целесообразно использовать и для первоначальной фиксации внешней оболочки в процессе изготовления детали.

Достаточно сложной деталью механических систем является зубчатое колесо из-за сложной формы зубчатого венца. В последнее время уделяется большое внимание изготовлению зубчатых колес неметаллов [1]. Получение зубчатого венца по оболочковому варианту имеет ряд преимуществ. Прежде всего – это возможность обеспечить очень качественную боковую рабочую поверхность каждого зуба, получать эвольвентные и эвольвентномодифицированные профили с относительно низкой по отношению к аналогам трудоемкостью на универсальном оборудовании без применения процессов резания (традиционных в этой области) и отделочных операций.

Оболочковый зубчатый венец изготавливается в четыре этапа [2, 3]: а) из тонкой металлической ленты формируется модульный П-образный контур (реечный контур) требуемой длины; б) модульная лента-контур замыкается в кольцо; в) замкнутая модульная П-образная лента-контур координируется и радиально обжимается с помощью приспособления либо на армирующих элементах, либо на инструменте; г) внутренняя полость такой ленточной оболочки заполняется композиционным материалом или пластической массой.

Исходным расчетным параметром для проектирования изделия и обеспечения технологического процесса изготовления оболочкового зубчатого венца является длина развертки внешнего контура зубчатого венца. Ее целесообразно определить через длину т.н. модульного сектора, который содержит и характеризует основные профильные кривые зубчатого венца (например, в частном случае – две одинаковые эвольвенты, фрагмент дуги окружности по вершине зуба, фрагмент дуги окружности во впадине и переходные кривые изгиба). В результате длина развертки

внешнего контура зубчатого венца будет равна произведению длины модульного сектора и числа зубьев венца.

Такая оболочковая технология позволяет также изготавливать конические и косозубые зубчатые венцы, а значит имеется возможность достаточно экономично изготавливать зубчатые венцы для передачи Новикова (выпукло-вогнутое зацепление). Следует отметить, что передача Новикова имеет высокую нагрузочную способность – в 1,5 раза больше эвольвентной передачи при прочих равных условиях. Из оболочек и композиционных материалов можно изготавливать формообразующие матрицы для формования или литья зубчатых колес из пластических масс как армированных, так и без армирующих элементов. Такие формообразующие матрицы отличаются очень высокой по качеству внутренней поверхностью. Их изготовление в частном случае из плоской ленточной развертки позволяет получать зубчатые колеса для клиновых передач и их модификаций.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Пластмассовые зубчатые колеса в механизмах приборах / Под ред. В.Е. Старжинского. СПб. – Гомель: Изд-во АН Белоруссии, 1998.
2. Медунецкий В.М. Повышение качественно-количественных показателей зубчатых передач путем использования специальных конструкций зубчатых колес // Экстремальная робототехника: Сб. тр. 11 науч.-техн. конф. – СПб.: ЦНИИ РТК, 2000.
3. Медунецкий В.М. Особенности технологии изготовления армированных зубчатых колес с внешней металлической оболочкой // Металлообработка. – 2000. – № 1. – С. 16–18.

**Е.В. Николаев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВ МАШИН НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК**

Динамические испытания различных устройств и узлов машин необходимы для определения надежности их функционирования в различных условиях эксплуатации, для определения динамических характеристик. Однако такого рода натурные испытания отличает высокая стоимость, недостаточная информативность, большая продолжительность подготовки, низкая оперативность. Поэтому роль натурных испытаний во многом переходит к лабораторным методам испытаний. Вследствие этого необходима разработка научно-обоснованных методов лабораторных испытаний и создание стендов, воспроизводящих реальные условия эксплуатации с за-

данной степенью точности. Отдельные узлы машин подвергаются во время эксплуатации периодическим механическим перегрузкам, вызванным их быстрыми вращательными или более сложными пространственными движениями. В таких условиях эксплуатируются, к примеру, узлы и устройства, устанавливаемые на роторах различных машин, а также устройства летательных аппаратов.

Конструкция ротационного испытательного стенда для воспроизведения периодических механических перегрузок [1] показана на рис. 1.

При проведении испытаний испытываемое устройство или узел закрепляется на столе 1, жестко связанном с ротором 4 двигателя собственного вращения 2, установленного в двухступенном кардановом шарнире 3. Двигатель собственного вращения вращает стол с частотой порядка тысячи оборотов в секунду. Кроме того, сам двигатель собственного вращения приводится в движение двигателями 6 посредством системы передач 5.

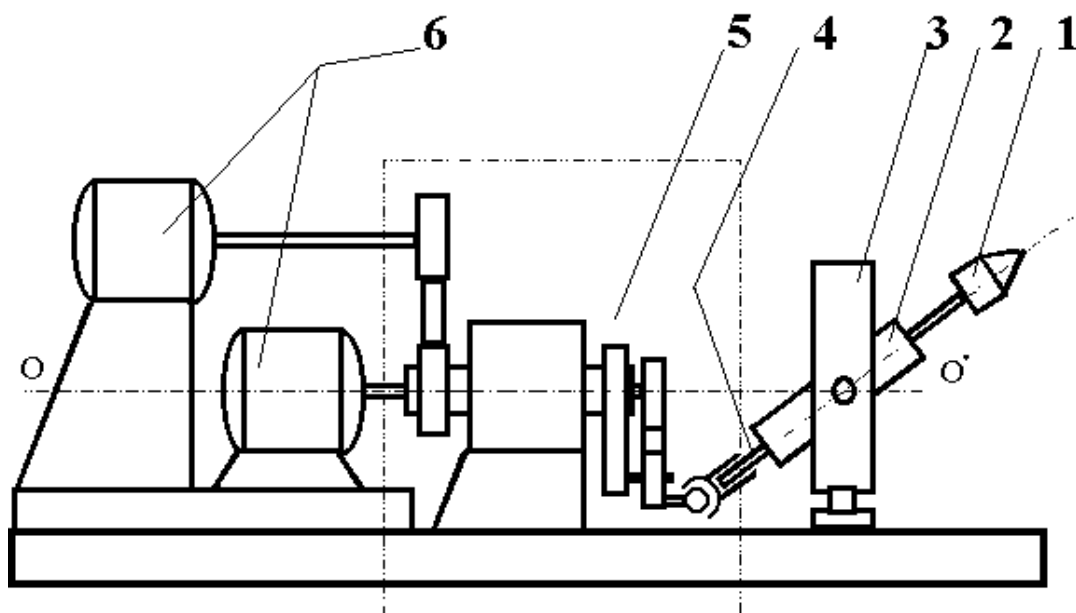


Рис. 1. Конструкция ротационного испытательного стенда

Ротор 4 двигателя собственного вращения совершает сложное пространственное движение вокруг оси  $O-O'$ . В результате испытываемое устройство совершает собственное вращение вокруг продольной оси двигателя собственного вращения, а также движение по траектории, изображенной на рис. 2.

Данный стенд можно использовать для испытания различных устройств, испытывающих долговременно действующие периодические перегрузки (в авиационной, автомобильной, судостроительной, машиностроительной и других отраслях промышленности).

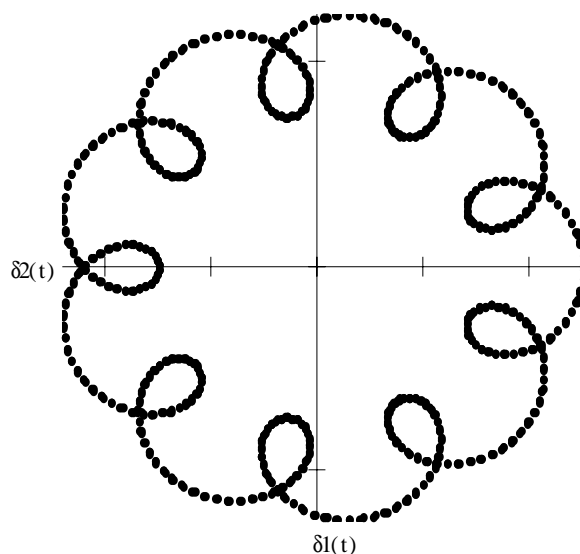


Рис. 2. Траектория движения

Описанная конструкция положена в основу демонстрационной установки сферического движения твердого тела [2], предназначенной для исследования сложного пространственного движения твердых тел.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонов Л.М., Козлов А.А., Николаев Е.В. Ротационный испытательный стенд // Заявка на изобретение №2000115406 (016133) от 28.06.2000 г.
2. Самсонов Л.М., Козлов А.А., Николаев Е.В. Установка сферического движения твердого тела // Свидетельство на полезную модель № 16557. МКИ 7 G 01 P 21/00. – Заявка № 2000123857/20 (025409) от 18.09.2000 г.

**А.А. Панфилов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

#### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ В ЛИТЫХ ПОЛИАРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ СИСТЕМЫ Al-Ti-SiC**

Анализ отечественных и зарубежных исследований в области разработок новых композиционных материалов свидетельствует о все большем интересе к созданию новых гетерофазных структур, представляющих собой различным образом организованные композиции из высокопластичных металлических матриц и тугоплавких, высокопрочных, высокомолекулярных наполнителей.

Одними из таких композиций являются полиармированные композиционные материалы (ПКМ) на основе алюминиевых сплавов, упрочненные

60

дисперсными высокомодульными частицами карбида кремния и алюминидов титана. Сочетание пластичной металлической матрицы с экзогенными дисперсными включениями карбида кремния и эндогенными включениями алюминидов титана в одном материале позволяет в конечном итоге получить комплекс весьма ценных свойств (высокий удельный модуль упругости, прочность, низкий коэффициент линейного расширения, низкий коэффициент трения, высокую износостойкость).

Получение таких материалов основано на жидкофазном совмещении ингредиентов с жидкометаллической основой сплава.

Наличие одного из компонентов сплава в жидком состоянии вызывает необходимость рассмотрения механизма взаимодействия между тугоплавкими армирующими наполнителями и матричным расплавом, особенно в системах с ограниченной растворимостью.

Механизм взаимодействия алюминиевого расплава с частицами порошка титана ранее уже изучен. Результатом этой реакции является образование алюминидов титана со средним размером менее 10 мкм, который зависит от марок, дисперсности, развития удельной поверхности частиц порошка титана и степени дефектности его кристаллической структуры.

В свою очередь карбид кремния взаимодействует, как с жидким расплавом, так и с частицами титана. Следует отметить, что реакция между карбидом кремния и титаном при отсутствии жидкой фазы не идет, поэтому алюминиевый расплав является как бы катализатором этого взаимодействия. Продуктами реакции взаимодействия частиц SiC с алюминиевым расплавом является карбид алюминия  $Al_4C_3$  и свободный кремний.

На основе термодинамических расчетов по методу Темкина–Шварцмана определены изобарные потенциалы реакций взаимодействия частиц SiC с расплавом и частицами порошка титана. Из полученных расчетов следует, что реакция взаимодействия карбида кремния с титаном идет намного активнее реакции карбида кремния с алюминием. В результате этой реакции образуется карбид титана TiC, мелкодисперсные (< 2 мкм) включения которого видны на шлифах вблизи залегания частиц SiC, и свободный кремний, который растворяется в жидком алюминии.

Анализ расчетных данных, экспериментов по ДТА и микроструктур показывает, что в данной системе происходит деградация армирующей фазы. Поэтому необходимо строго контролировать температурные и временные режимы получения ПКМ. В связи с выше сказанным, установлены оптимальное время выдержки композиции в жидком состоянии – 30 мин и температура расплава – 780...800<sup>0</sup>С. При этих режимах титан полностью успевает прореагировать с образованием алюминидов титана со средними размерами менее 10 мкм, а частицы карбида кремния сохраняют свою первоначальную структуру и не успевают вступить во взаимодействие.

Такие КМ предназначены, прежде всего, для изготовления подшипников скольжения в высоконагруженных трибосопряжениях различных видов техники.

Потенциальными потребителями разработанной научно-технической продукции являются предприятия машиностроения, судостроения, авто-тракторная, авиационная, нефте- и газодобывающая промышленности и железнодорожный транспорт.

**А.В. Панфилов, В.Г. Кузеванов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

**А.В. Семенов**

*Россия, г. Владимир, ООО «Завод Автоприбор»*

### **МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЕ С ВЫСОКОМОДУЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

Литые композиционные материалы (ЛКМ) получают все большее распространение в различных отраслях машиностроения. Эти материалы отличаются более высокими прочностью, модулем упругости и износостойкостью, низкими коэффициентами линейного расширения и трения, чем существующие промышленные алюминиевые сплавы, и являются альтернативными материалами для замены дефицитных и дорогостоящих медных антифрикционных сплавов (Бр.О5Ц5С5, Бр.А9Ж3Л и др.).

Из-за наличия в составе материала твердых высокомодульных частиц карбида кремния механическая обработка заготовок при использовании существующего парка оборудования и инструмента вызывает определенные трудности, т.к. происходит значительный износ режущего инструмента.

Опыт внедрения ЛКМ на предприятиях ОАО «Ковровский экскаваторный завод», ФГУП ВПО «Точмаш», ООО «Завод Автоприбор», ОАО «Заволжский моторный завод» и др. показал, что для успешного решения проблемы механической обработки необходим правильный выбор режущего инструмента, его геометрии, режимов резания и СОЖ. При чистовой токарной обработке ЛКМ рекомендуется применение только твердосплавного или алмазного инструмента. Оптимальные режимы резания: скорость резания  $V = 100$  м/мин, подача  $S = 0,15...0,2$  мм/об, глубина резания  $t = 0,2...0,3$  мм. В качестве СОЖ рекомендуется использовать раствор каустической соды или керосин. Эти режимы обеспечивают качественную механическую обработку ЛКМ с содержанием армирующей фазы 3...5% SiC.

Хорошие результаты дает применение методов отделочной обработки, основанных на пластическом деформировании поверхности: раскатывание, обкатывание, алмазное выглаживание.

Для обработки ЛКМ с высоким содержанием армирующей фазы (до 30% SiC) необходим твердосплавный инструмент с высокой износостойкостью и прочностью.

В настоящее время в металлообработке наблюдается тенденция отказа от применения СОЖ при резании. Это стало возможным, поскольку современные режущие материалы сохраняют твердость и износостойкость при очень высоких температурах в зоне резания.

Авторами проведены работы по использованию для обработки ЛКМ твердосплавных пластин производства российского предприятия САНДВИК-МКТС. Установлено, что для наружного точения необходимо использовать одностороннюю острокрытую пластину CPGX-AL, для внутренней обработки – VCGT-AL из твердого сплава повышенной износостойкости ТК15. Рекомендуемые режимы обработки:

Подача $S$ , мм/об	0,1	0,4	0,8
Скорость резания $V$ , м/мин	2500	1000	150

Для чистовой внутренней обработки рекомендуются пластины CD1810 с синтетическим алмазом со следующими режимами резания:  $t = 0,1 \dots 0,3$  мм,  $S = 0,05 \dots 0,10$  мм/об, скорость резания – 2000...2500 м/мин.

Применение новых инструментальных материалов позволяет успешно решить проблему механической обработки ЛКМ.

**А.В. Панфилов, И.К. Каллиоппин, А.А. Панфилов, Ю.Д. Корогодов**  
*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **НОВЫЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Развитие современного машиностроения неотделимо от решения проблем, связанных с повышением надежности и долговечности машин. Уменьшение потерь на трение и изнашивание подвижных сочленений узлов и механизмов является актуальной задачей новых разработок и практической эксплуатации многочисленных видов техники. Поэтому разработке новых материалов для узлов трения и износостойких материалов уделяется серьезное внимание. Интерес к этим материалам обусловлен возрастанием расходов на ремонт машин и механизмов, который, как правило, начинается с замены подшипниковых узлов или восстановления других изношенных деталей.



Одним из перспективных направлений в разработке новых антифрикционных материалов является создание принципиально новых гетерофазных структур, представляющих собой различным образом организованные композиции из высокопластичных металлических матриц и тугоплавких высокопрочных, высокомодульных наполнителей, выполняющих при трении роль несущих элементов. Большой интерес представляют композиционные материалы (КМ) на основе алюминиевых сплавов, упрочненных дисперсным карбидокремниевым наполнителем и алюминидом титана. Эти КМ обладают комплексом весьма ценных свойств (высоким удельным модулем упругости, прочностью, низким коэффициентом линейного расширения, низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью), хорошо адаптируются к условиям серийного литейного производства и являются наиболее дешевыми среди других материалов благодаря низкой стоимости наполнителя и относительной простоте технологического процесса, который основан на жидкофазном совмещении ингредиентов с жидкометаллической основой сплава.

Приготовление КМ заключается в экзогенном введении дисперсных частиц карбида кремния (SiC) размером 3...28 мкм в предварительно расплавленный и подвергнутый рафинированию алюминиевый сплав при непрерывном перемешивании его с помощью механического активатора. Для защиты от растворения в расплавленном алюминии, погружаемые в расплав рабочие органы активатора, изготавливаются из титанового сплава и покрываются карбидо-нитридо-оксидным слоем, образующимся при высокотемпературной термодиффузионной обработке.

Усвоение вводимых дисперсных частиц SiC и их равномерное распределение по объему расплава достигается при достаточно высокой частоте вращения активатора ( $> 1000 \text{ мин}^{-1}$ ), что неизбежно приводит к увеличению газонасыщенности расплава. С целью устранения этого нежелательного явления в расплав вводится и перемешивается в нем 0,2...0,4% порошкообразного титана марки ПТХ-1. Титан активно реагирует с азотом, кислородом и алюминием с образованием твердых частиц и фаз, не ухудшающих свойства композиционных материалов. Продуктами взаимодействия титана и алюминия являются частицы алюминиды титана  $\text{TiAl}_3$ , имеющие компактную округлую форму, размеры 5...10 мкм, которые равномерно распределены в объеме композита. За счет сравнительно высокой твердости этих интерметаллидов ( $H_{\mu} > 350$ ) их частицы увеличивают твердость, прочность и улучшают антифрикционные свойства КМ.

Для изготовления отливок из КМ может быть использован любой способ литья: в землю, в кокиль, под давлением, литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка) и др. В некоторых случаях при выплавке

композиционного сплава в литейном цехе в качестве шихтового материала может быть использована концентрированная композиционная лигатура, полученная введением 15-20 вес.% частиц карбида кремния с добавками титана в алюминиевый расплав в процессе его активного механического перемешивания с последующей разливкой лигатуры в пресс-формы с кристаллизацией под давлением (до 150 МПа). Последнее обеспечивает более полную пропитку порошкообразного материала, лучшую смачиваемость и более высокую адгезию на границах раздела матрица-частица, более равномерное распределение частиц по объему композита. Затем композиционная лигатура растворяется в алюминиевом сплаве до требуемой концентрации армирующей фазы в композите 3...5 вес.%. Для реализации указанной технологии спроектировано и изготовлено технологическое оборудование, включающее установку для приготовления композиционных сплавов и модернизированный гидравлический пресс П6328, разработана и изготовлена литейная оснастка для жидкой штамповки, отработаны технологические режимы изготовления отливок.

Антифрикционные КМ на основе алюминиевых сплавов обладают значительно лучшим комплексом триботехнических свойств, чем известные медные сплавы (Бр О5Ц5С5, Бр А9Ж3Л и др.) и значительно дешевле последних (износостойкость в 8...10 раз выше, чем у традиционных антифрикционных бронз, несущая способность до 120 МПа, коэффициент трения  $< 0,01$ ). Они предназначены для работы в качестве подшипников скольжения в высоконагруженных трибосопряжениях, работающих в контакте со сталью ( $> 45$  HRC) при ограниченной смазке. Малотоннажное производство (1,5...2 т/год) КМ налажено на опытно-экспериментальном участке ВлГУ.

Разработанные КМ успешно прошли промышленные испытания и внедрены с высокой экономической эффективностью взамен антифрикционных бронз для изготовления втулок катков ходовой части экскаваторов на ОАО «Ковровский экскаваторный завод», для ремонта металлорежущего и кузнечно-прессового оборудования на ООО «Завод Автоприбор», ВПО «Точмаш» (г. Владимир), вагонном депо Владимир Горьковской железной дороги.

**А. С. Петров**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НЕОДИМ-ЖЕЛЕЗО-БОР ПОСЛЕ ПОВТОРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Постоянные магниты неодим–железо–бор имеют очень высокий уровень магнитных характеристик среди всех известных магнитных материалов. В основе технологии изготовления высокоэрцитивных постоянных магнитов лежит эффект Керра. Намагниченность, определяемая вращением вектора намагниченности, – это высокоэрцитивный процесс, требующий значительной энергии. Поэтому основной операцией после кристаллизации сплава неодим-железо-бор является дробление и помол сплава до размеров однодоменной частицы, примерно, 8...10 мкм. Далее частицы ориентируются в мощном магнитном поле постоянного тока, спрессовываются и спекаются при температуре ~ 1150°С в течение двух часов.

Первой стадией такого процесса изготовления постоянных магнитов является получения слитка с максимальным содержанием магнитной фазы. Равновесная кристаллизация сплава, содержащего 34,1% неодима; 1,15...1,20% бора, остальное – железо, протекает так: при температуре 1450 К начинается перитектическая реакция жидкость + железо = неодим 2 – железо 14 – бор. В ходе этой реакции железо, взаимодействуя с жидкостью, частично растворяется и превращается в фазу неодим 2 – железо 14 – бор.

При достижении температуры 1420 К перитектическая реакция переходит в тройную, в ходе которой железо полностью исчезает, а взамен образуется две фазы: неодим 2 – железо 14 – бор и неодим 2 – железо 17.

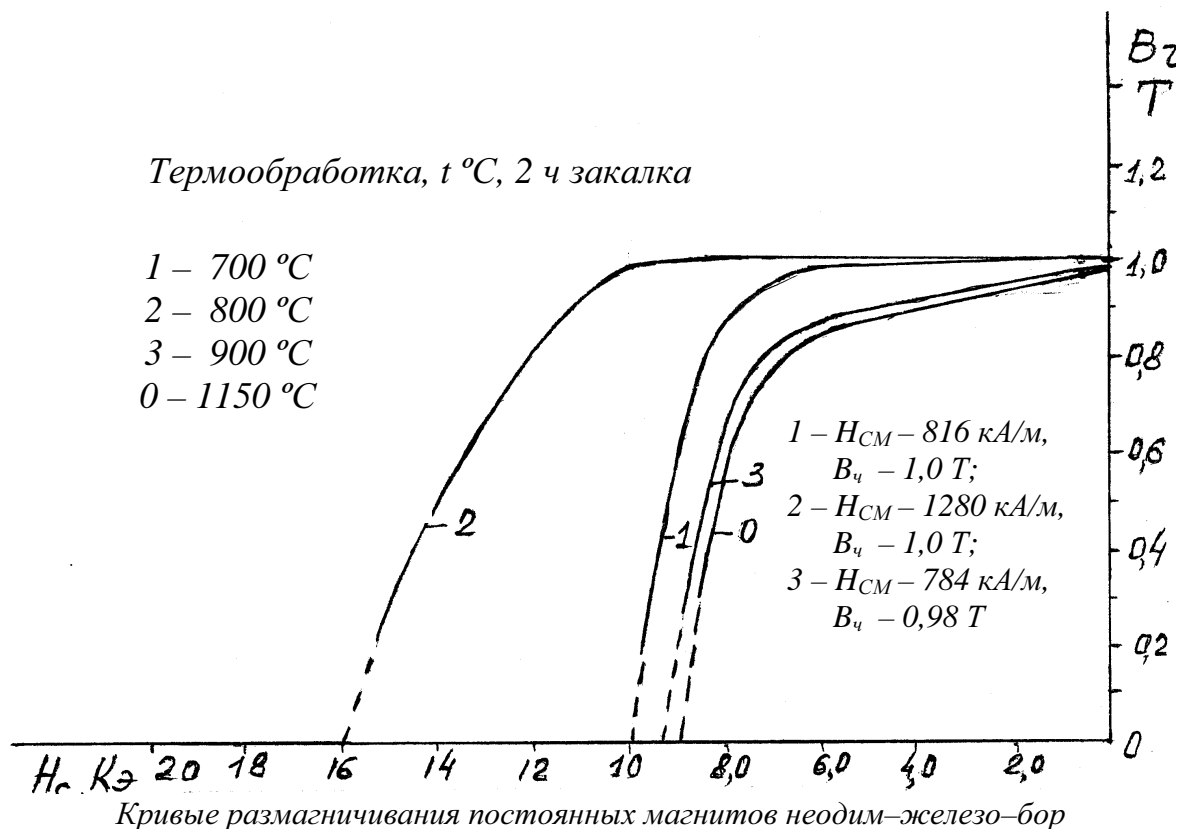
При температуре 958 К начинается тройная перитектическая реакция, в ходе которой фаза неодим 2 – железо 17 полностью исчезает и выделяется неодим. При температуре 928 К кристаллизуется двойная эвтектика неодим 2 – железо 14 – бор + неодим. Кристаллизация заканчивается при температуре 928 К с образованием фаз неодим 2 – железо 14 – бор + неодим 1,4 – железо 4 – бор 4 + неодим.

Целью данной работы является выяснение влияния повторной термической обработки постоянных магнитов типа неодим – железо – бор на уровень магнитных характеристик, так как из вышеизложенного видно, что при высоких температурах термодинамически выгодно существование магнитной фазы неодим 2 – железо 14 – бор. Для достижения этой цели постоянные магниты, изготовленные из сплава неодим – тердий – железо – кобальт – алюминий – бор, нагревались до температур 700, 800, 900°С

с последующей 30...40-минутной выдержкой, потом резким охлаждением (закалкой для фиксации структуры с заданных температур).

Микроструктура постоянных магнитов после спекания состоит в основном из двух фаз: неодим 2 – железо 14 – бор – основная магнитная фаза (крупные, светлые кристаллы) и двойной эвтектики: неодим 2 – железо 17 – бор + неодим 2 – железо 17 – немагнитной области (серая область вокруг светлых кристаллов) и выделений неодима. Отношение магнитной и немагнитной фаз в микроструктуре постоянного магнита, определенное на глаз, составляет примерно 45:55. Основные механические характеристики спеченных постоянных магнитов таковы: твердость по Роквеллу – HRA 78,5; микротвердость  $Hd^{100}$  – 443, 448, 433, 419, 323, 391, 359, 370, 348, 433, 417, 438, 417, 428, 351, 355, 354, 353, 340, 420, 456. Основные магнитные характеристики таковы: индукция ~ 1,0 Тл, коэрцитивная сила, измеренная по индукции, ~ 800 кА/м.

Микроструктура постоянных магнитов после повторной термической обработки при температуре 700°C практически не претерпела изменений по отношению к спеченным. В микроструктуре соотношение магнитной фазы и немагнитной эвтектики составляет ~ 50:50. Такой вывод подтверждается и магнитными измерениями (см. рисунок).



Различие в магнитных характеристиках спеченных и повторно термически обработанных при температуре 700°C находится в пределах ошибок опыта.

Твердость по Роквеллу повысилась до величины HRA 79,0; измерения микротвердости зафиксировали более высокий уровень значений:  $Hd^{100}$  – 514, 464, 514, 420, 642, 727, 724, 642, 824, 572, 514, 572, 514. Этот результат можно интерпретировать как начало обособления светлых кристаллов и серой эвтектики, а известно, что микротвердость эвтектики значительно выше, чем магнитной фазы.

Наоборот, повторная термообработка постоянных магнитов при температуре  $800^{\circ}\text{C}$  приводит к значительному увеличению светлой фазы, но магнитная фаза еще равномерно окружена серой эвтектикой. Основные механические характеристики постоянных магнитов таковы: твердость по Роквеллу – HRA 79,25; микротвердость –  $Hd^{100}$  – 400, 430, 470, 550, 600, 800. Изменение магнитных характеристик показало, что коэрцитивная сила, измененная по индукции, возросла с 9 до 15 кА/м, в то же время индукция возросла совершенно незначительно, до 1 Тл.

Термообработка постоянных магнитов при температуре  $900^{\circ}\text{C}$  резко видоизменяет микроструктуру. Наряду с увеличением магнитной фазы налицо объединение светлой фазы в длинные образования, размеры которых значительно превосходят однодоменные частицы. Это позволило измерить микротвердость основных фаз. Твердость по Роквеллу достигла HRA 79,5;  $Hd^{100}$  – 320, 370 (магнитная фаза), 800, 830 (эвтектика). Магнитные характеристики таких магнитов ниже, чем у термообработанных при температуре  $800^{\circ}\text{C}$ . Коэрцитивная сила  $\sim 11$  кА/м, индукция 1 Тл.

Резюме:

1. Термодинамика существования фаз в жидкой и твердой средах одинакова, поэтому температуру термообработки постоянных магнитов неодим – железо – бор необходимо связывать с температурой равновесной кристаллизации.

2. Повторная термообработка постоянных магнитов значительно повышает коэрцитивную силу, измеренную по индукции, до тех пор, пока магнитная фаза будет увеличивать свой объем и в то же время должна быть окружена немагнитной фазой (серой эвтектикой).

3. Дальнейшее увеличение магнитной фазы и появление поперечных связей между ними приводит к возникновению объемов светлой фазы, значительно превышающих объем однодоменной частицы. Возникают условия перемагничивания смещением доменных стенок. Такой низкокоэрцитивный процесс приводит к падению коэрцитивной силы постоянных магнитов.

**И.В. Пичужкин, В.Н. Жарков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА: НОВЫЙ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД**

Современное производство ставит перед руководством организаций множество новых и весьма сложных вопросов. Дело в том, что, придерживаясь закономерности и логики развития, прошедший XX век характеризовался как индустриальное общество. Наступивший же XXI век именуется информационным обществом. Если в индустриальном обществе основным стратегическим ресурсом считался денежный капитал, то в новом информационном обществе этим ресурсом становится человеческий капитал, а также наука, знание, творчество, информация.

Существует несколько реальных источников, где предприятие может получить этот важный ресурс, но основной непреходящей ценностью организации являются ее квалифицированные специалисты и менеджеры.

Для выхода на траекторию устойчивого роста с учетом новых мировых тенденций и острой конкуренции возникает потребность в коренной переориентации социальной и экономической стратегии, направленной на многократный подъем мотивационной, инновационной, организационной и управленческой активности, концентрации ресурсов на прорывных направлениях научно-технологического развития, формирования инновационно-активных производственных структур организаций, продукция которых способна успешно конкурировать на мировых рынках.

Предлагаемая система должна обладать реальными возможностями для обеспечения расширенного воспроизводства в условиях рыночного хозяйства на принципах полной экономической самостоятельности, самоорганизации и конкурентной среды. Она должна быть сориентирована на относительно полный охват стадий воспроизводственного цикла, на сбалансированность экономических и организационных процессов этой сложной системы.

В процессе реорганизации промышленного производства необходимо создать такие производственные системы инновационного типа, которые соответствуют прогрессивным технологическим укладам, придающим организациям инновационный тип развития.

Экспертные оценки экономистов говорят о том, что крупные фирмы завтрашнего дня будут состоять из десятков небольших самостоятельно действующих отделений (бизнес-единиц), каждое из которых обладает большой степенью автономии, а их деятельность остро нацелена на рынок

продукции определенного вида. Специалисты называют такую организацию «гибридом большой и малой фирмы». В ней успешно сочетаются преимущества большого бизнеса. Это доступ к крупному капиталу, возможность вложения инвестиций в фундаментальные исследования, целесообразность привлечения талантливых управляющих, ученых и инженеров – с основными преимуществами малого бизнеса – это гибкость, скорость операций и оборачиваемость средств, острая целевая направленность деятельности.

Статистика указывает, что более крупные фирмы (вплоть до известного предела), как правило, оказываются более эффективными. Следует отметить по крайней мере два общих положения для крупных предприятий в будущем: минимальная вертикальная интеграция и большое внимание, уделяемое основной продукции и потребителю.

Весьма важно правильно оценить оптимальный уровень вертикальной интеграции и сосредоточиться на том деле, которое признано основным. Все остальное может быть сделано дешевле и быстрее сторонними фирмами или соответствующими, отделившимися от головной организации, самостоятельными подразделениями.

Нельзя не заметить интенсивность процесса «вымывания» среднего звена управления. Компьютерная технология разрушила всю иерархическую пирамиду. На компьютере сегодня выполняются те виды работ, за которые обычно отвечали средние управляющие. Теперь это звено управления организаций сокращается до 50%, что позволяет руководству значительно сократить иерархические пирамиды и формировать плоские структуры горизонтального типа.

Настоятельной и неотложной проблемой современного этапа развития предприятий в России является концентрация усилий науки и практики на решении коренной задачи – обеспечения устойчивого экономического роста в реальном промышленном секторе. Реализация этой программы объективно предполагает разработки современного механизма управления стратегическим развитием производственно-экономической системы с внедрением прогрессивной (оригинальной) производственной и организационной структуры управления, с учетом степени «агрессивности» внешней среды, создавая благоприятные условия для предприятий, определяемые способностью быстро изменять правило игры к своей выгоде.

Думается, что именно такая, либо подобная схема развития промышленных предприятий станет тем скоростным локомотивом, который будет способствовать успешному развитию российской экономики в ближайшие годы нового столетия.

**В.А. Полетаев, В.Ф. Воробьев, И.З. Басыров, А.С. Орлов**

*Россия, г. Иваново, ИГЭУ*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКЕ**

В современных условиях экономики России остро стоит вопрос о повышении качества выпускаемых машин и механизмов, т.е. увеличения их надежности и долговечности путем упрочнения деталей при минимальных затратах на их изготовление.

В промышленности находят применение различные методы упрочняющей обработки для повышения износостойкости деталей машин. Одним из прогрессивных методов является импульсная магнитная обработка. Электромагнитное поле успешно применяют в современной технике и технологии для управления свойствами твердого тела. Магнитную обработку используют в машиностроении для упрочнения лезвийного режущего инструмента и других деталей. Незначительная стоимость и высокая производительность современных магнитных установок, а также простота технологии магнитной обработки позволяет рекомендовать ее для различных отраслей промышленности.

Сущность импульсной магнитной обработки заключается в воздействии магнитного поля на деталь, расположенную внутри соленоида.

Исследования проводились с образцами из стали 50 и 65, закаленными в масле на мартенсит (исходная структура – зернистый перлит), из стали У8А и У12А.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что при импульсной магнитной обработке стали в ней происходит изменение структуры и механических свойств, обусловленное образованием субзеренной (доменной) структуры, и перераспределение дислокаций как внутри зерна, так и на его границах. Установлено, что при импульсной магнитной обработке имеют место следующие явления и процессы: формирование внутри исходного зерна новых субзерен (доменов), сопровождаемое уменьшением поверхностной энергии: перераспределение дислокаций как внутри субзерна, так и на его границах; микропластическая деформация; перераспределение остаточных напряжений первого рода [1].

Перечисленные процессы приводят к изменению свойств стали, обработанной импульсным магнитным полем, вызывают повышение твердости и износостойкости. Образование субзеренной структуры в металле зависит от времени (количества импульсов) обработки и величины напряженности магнитного поля. Установлена зависимость размера субзерна (домена) от его исходной величины. При формировании новой субзеренной структуры



происходит выявление субграниц у субзерен внутри исходного зерна, сопровождаемое уменьшением поверхностной энергии. Установлена зависимость толщины граничного слоя от режимов импульсной магнитной обработки. Выявлено, что с уменьшением величины исходного зерна и с увеличением напряженности магнитного поля толщина субграниц уменьшается. Кроме того, установлено, что границы крупных субзерен являются местом скопления дислокаций: чем крупнее зерно, тем больше плотность дислокаций. У мелких зерен дислокации распределены равномерно по всему объему металла.

В результате закалки стали и последующей ее обработки импульсным магнитным полем происходит перераспределение дислокационной структуры: часть дислокаций равномерно распределяется внутри зерна, а часть перестраивается с образованием субграниц. Причем чем крупнее зерно, тем больше отток дислокаций на субграницы. Активность подвижных дислокаций при пластической деформации зависит от размера зерна: чем меньше зерно, тем больше дополнительных препятствий (субграниц) движущимся дислокациям внутри зерен. Чем больше таких препятствий, тем эффективнее торможение дислокаций и выше прочность.

При увеличении времени (количества импульсов) импульсной магнитной обработки происходит образование полосовой доменной структуры и распределение линейных дислокаций вдоль направления внешнего магнитного поля. Под действием энергии кристаллографической анизотропии происходит увеличение объема тех субзерен (доменов), вектор намагничивания которых образует наименьший угол с направлением магнитного поля. Это увеличение осуществляется за счет уменьшения объема неблагоприятно расположенных доменов. Одновременно под действием энергии магнитоупругой деформации происходит поворот доменов вокруг оси легкого намагничивания. Установлено, что действие энергии магнитоупругой деформации наиболее эффективно в мелкозернистой структуре.

Проведенные исследования показали, что механизм структурных дислокационных превращений в стали под действием импульсного магнитного поля весьма сложен: различные марки сталей и сплавов по разному реагируют на одни и те же параметры магнитного поля. Поэтому возникла необходимость привлечения вычислительной техники для оптимизации процесса магнитной обработки и упрощения управления параметрами магнитного поля.

Концепция компьютерной системы диагностики состояния металлов (деталей), помещенных в импульсное магнитное поле заключается в создании математического аппарата, описывающего следующие явления, которые имеют место при импульсной магнитной обработке: формирование внутри исходного зерна новых субзерен (доменов), сопровождаемое

уменьшением поверхностной энергии, перераспределение дислокаций как внутри зерна, так и на его границах; микроскопическая деформация. При этом пользователь может наблюдать за этими процессами на экране дисплея и вмешиваться в ход эксперимента, задавая параметры магнитного поля, времени обработки, число импульсов и т.д.

На данном этапе разработана структура системы. Она включает в себя компоненты:

- диалоговый процессор, обеспечивающий стандартный интерфейс с пользователем. Меню предлагается в виде окон (аналогично Windows) с блоками команд, сопровождаемых справочной информацией. Все диалоговые формы содержатся в отдельном файле и могут легко меняться;
- система управления базами данных (СУБД), представляет собой библиотеку программ на языке Borland Pascal 7.0. Она обеспечивает расчетную подсистему различной нормативно-справочной информацией;
- в базе данных хранятся справочные данные типа химсостав сплавов, термическая обработка, размер зерна, намагниченность насыщения, магнитная энергия и др. Предусмотрена возможность изменения и внесения дополнительной информации в БД в диалоговом режиме;
- так как механические свойства металла существенно зависят от его кристаллографической структуры, то в результате работы расчетной подсистемы будет обеспечиваться графическая интерпретация динамики изменения контролируемых параметров (напряженность магнитного поля, время обработки, количество импульсов, средний размер домена до и после обработки и т. д.), с выдачей на экран схематических изображений происходящих процессов. Например, расположение доменов стали относительно направления напряженности внешнего магнитного поля, глубина упрочненного слоя и т. д.;
- анализ результатов содержит заключение о проведенных исследованиях и рекомендации о выборе параметров при применении метода импульсной магнитной обработки, в зависимости от марки стали. Эти заключения, оформленные в виде протоколов испытаний будут храниться отдельными файлами в библиотеке результатов, и могут быть востребованы по мере необходимости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полетаев В.А., Шипко М.Н., Воробьев В.Ф. Влияние обработки в импульсном магнитном поле и коронном разряде на прочность стали // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 4. – С. 34–37.

**В.Г. Прокошев, С.И. Шишин, А.В. Панфилов, С.М. Аракелян**  
*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

При лазерной наплавке и легировании порошковыми материалами традиционным способом возникают две трудности. Во-первых, связующие могут препятствовать формированию легированного или наплавленного слоя, ухудшать его свойства, возникновение сажеобразных продуктов сгорания и разложения большинства связок приводит к выбрасыванию порошка из зоны обработки и периодическому экранированию излучения; во-вторых, при расплавлении порошка ряд элементов (углерод, бор и др.) могут выгорать или переходить в шлак. В итоге образуются области с неравномерной глубиной оплавления и содержанием элементов в слое.

Процесс лазерного легирования и наплавки осуществляется без использования связующих. Образец из алюминиевого сплава АЛ30 обрабатывался в среде аргона на лазерной установке «Квант-15» при следующих режимах обработки: мощность 120 Вт, скорость движения луча 0,3 см/с, диаметр пучка 0,4 мм. Для легирования применялись порошки железа, титана, никеля, а также порошковый материал марки ПР-Н80Х13С2Р.

Ряд составляющих порошковых материалов с более низкой температурой плавления чем окисная плёнка, образующаяся на поверхности алюминиевого сплава, при воздействии лазерного излучения переходят в жидкое состояние и за счёт сил поверхностного натяжения растекаются в области меньших температур и поэтому поверхность сплава остаётся без легирующей композиции (рис. 1).

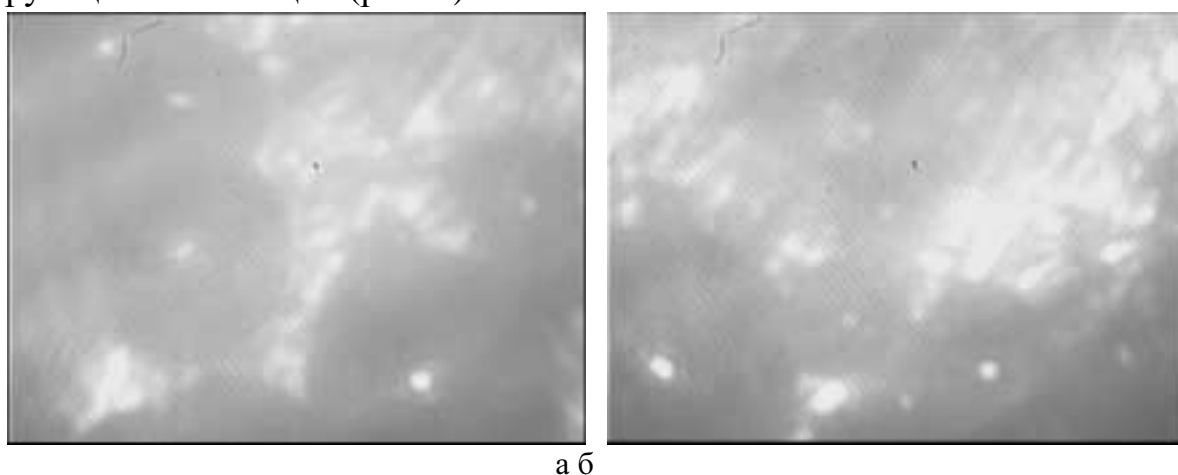


Рис. 1. *Поведение расплавленного порошкового материала:*  
*а – время воздействия 0,16 с; б – время воздействия 0,20 с)*

Но такая картина наблюдается в случае, когда плотность мощности в сечении сфокусированного лазерного излучения имеет нормальное (гаусово) распределение. Поэтому предлагается использовать лазерный пучок, у которого плотность мощности в сечении будет возрастать от центра пятна к периферии. Такой лазерный пучок будет своего рода «ловушкой» для частиц порошка.

С использованием монитора на поверхности расплавленного лазерным излучением материала наблюдались гидродинамические волны, расходящиеся от центра пятна лазерного излучения к границе ванны расплава и обусловленные действием сил поверхностного натяжения и давлением отдачи паров материала.

При продолжающемся лазерном воздействии эти режимы движения расплава (ламинарного, волнового и вихревого) повторялись, сменяя друг друга, неоднократно. Переход от ламинарного движения расплавленного материала к сильному перемешиванию и снова к ламинарному показан на рис. 2, временной интервал между изображениями 0,08 с. Важной практической задачей является получение более однородного легированного слоя с равномерным распределением легирующих добавок, что достигается при режиме движения расплава с сильным перемешиванием.

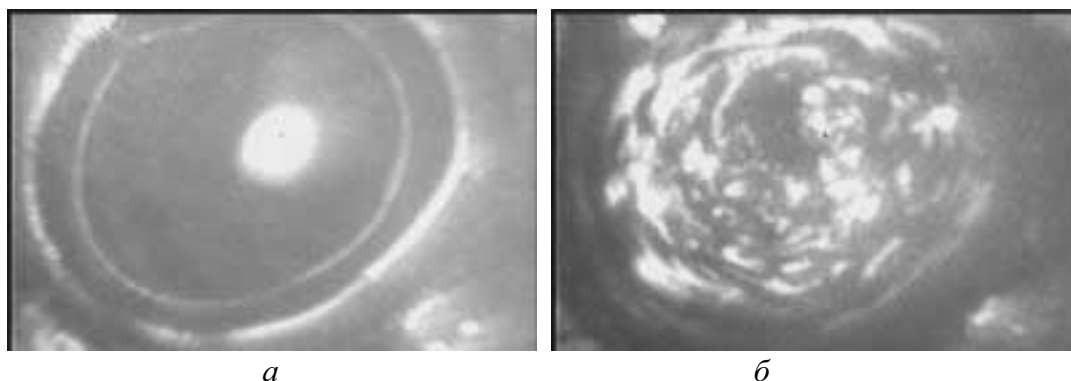


Рис. 2. Режимы движения расплава:  
*а* - ламинарный по поверхности, *б* – с сильным перемешиванием.

Легированная зона имеет структуру твёрдого раствора легирующего элемента в алюминии с соответствующими интерметаллидными фазами  $FeAl_3$ ,  $NiAl_3$ ,  $CrAl_3$ ,  $TiAl_3$ . В результате лазерного легирования интерметаллиды имеют глобулярную форму, что обеспечивает высокие эксплуатационные свойства обработанной поверхности. При исследовании микроструктуры сплава после лазерной обработки можно чётко выделить только зону оплавления, а зона закалки из твёрдой фазы не обнаруживается. Это связано, по-видимому, с высокой теплопроводностью и отсутствием структурных превращений в твёрдом состоянии при скоростной обработке.

Структура в зоне обработки имеет квазиэвтектическое строение, отличающееся мелкодисперсностью фаз. Крупные первичные кристаллы кремния измельчаются в 18-40 раз.(20).

При высоких скоростях кристаллизации легированного расплавленного объёма образуется структура, отличительной особенностью которой от строения диффузионных покрытий является отсутствие слоистости. Вследствие конвективного перемешивания расплава по мере удаления от поверхности нет перехода от фаз с большей концентрацией легирующего элемента к фазам с меньшей концентрацией, все фазы в легированной зоне перемешаны примерно равномерно по глубине. Сравнение микроструктуры алюминиевого сплава АЛ30 при его легировании порошковыми материалами показало, что при легировании без связующих обмазок структура зоны лазерного воздействия менее игольчатая и имеется меньше пор, чем при обработке традиционным способом. Сравнительные данные микротвёрдости алюминиевого сплава АЛ30 при различных способах обработки приведены в таблице:

Таблица 1

*Сравнительные данные по средней микротвёрдости сплава АЛ30 после различных способов обработки.*

№ п.п.	Способ обработки	Микротвёрдость Н
1	Лазерная закалка без легирования	90-110
2	Лазерное легирование порошковым материалом ПР-Н80Х13С2Р с использованием связующих обмазок	190-210
3	Лазерное легирование порошковым материалом ПР-Н80Х13С2Р без использования связующих обмазок	180-200
4	Лазерное легирование порошком железа	170-180
5	Лазерное легирование порошком титана	150-160
6	Лазерное легирование порошком никеля	160-180

Высокий уровень микротвёрдости объясняется высокой дисперсностью структур, образующихся в результате закалки из жидкого состояния

Изменение микротвёрдости по глубине материала представлено на рис. 3.

Выводы.

1. Лазерное легирование порошковыми материалами приводит к значительному увеличению твёрдости поверхностного слоя, но наибольшие значения твёрдости получены в результате легирования сплавом ПР-Н80Х13С2Р.

2. При легировании без связующих обмазок структура зоны лазерного воздействия менее игольчатая и имеется меньше пор, чем при обработке традиционным способом.

3. В результате оптимального выбора параметров лазерного излучения и режимов обработки образуется однородный по физико-механическим свойствам слой с равномерным распределением легирующих добавок.

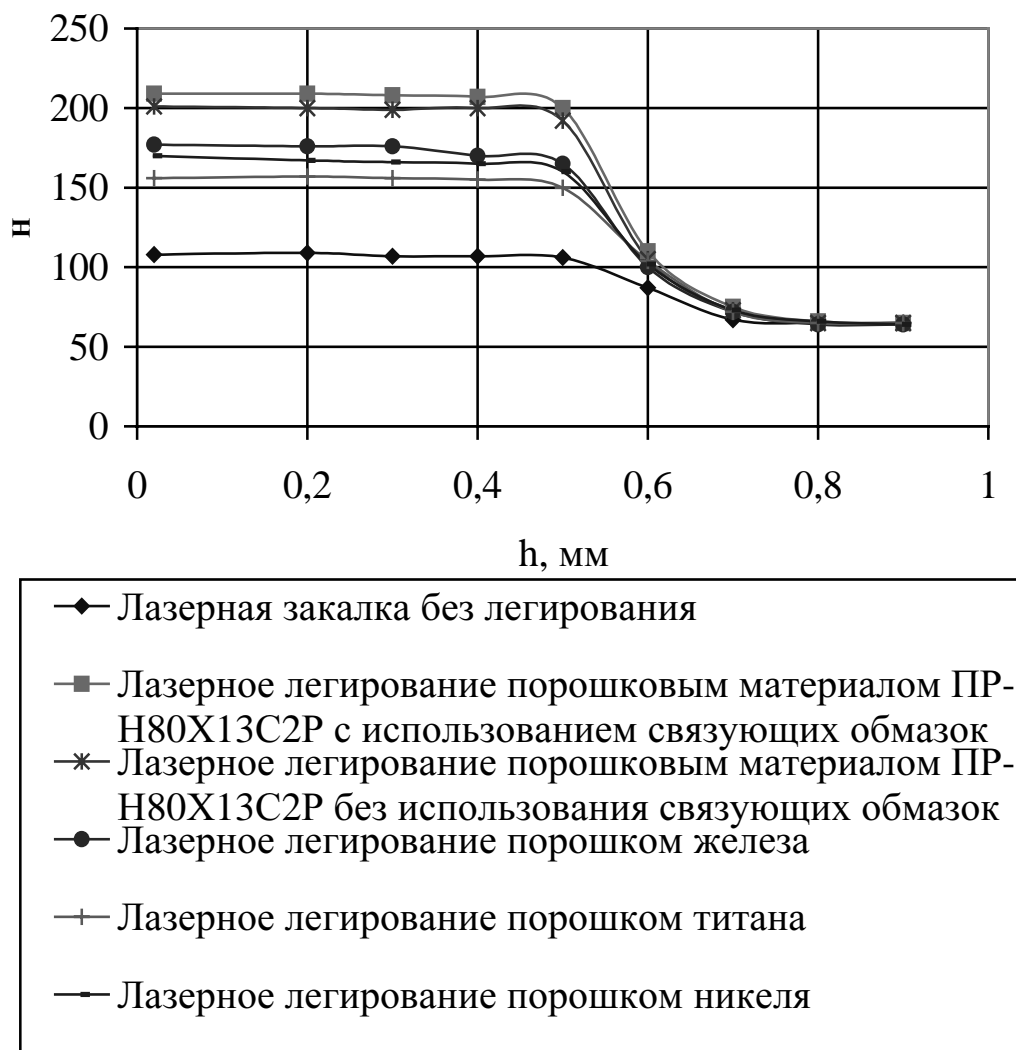


Рис. 3. Изменение микротвёрдости по толщине оплавленного слоя

**А.Н. Семенюк**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РОТАЦИОННЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ

Динамическая модель обобщенного ротационного станда с жесткими звеньями на базе кинематической модели позволяет более детально проанализировать взаимодействие звеньев и приводов стандов при наличии эффектов, вызванных действием гравитации, кориолисовых, центробежных сил (моментов) и противоэлектродвижущих сил в электроприводах.

При управлении ротационными системами необходимо учитывать и вводить в соответствующие каналы управления поправки для обеспечения требуемых законов движения звеньев.

Для увеличения эффективности испытаний необходимо управлять всеми силами (или моментами). Это может быть реализовано как в течение всего процесса испытаний, так и в отдельных его фазах. В процессе испытания могут быть замкнуты или разомкнуты кинематические связи с целью увеличения (уменьшения) кинетической энергии звена. При опосредованном управлении перемещение звена вызывается действием сил, вызванных действием гравитации, кориолисовых, центробежных сил и противоэлектродвижущих сил в электроприводах. При динамической уравновешенности ротационного стенда могут быть использованы стандартные электро-механические приводы с известными настройками.

В соответствии с полученными моделями движения звеньев ротационных стендов можно реализовывать, управляя величинами неуравновешенности, сил трения, аэродинамического сопротивления и степенью взаимовлияния звеньев.

Величина неуравновешенности звена может быть изменена за счет изменения параметров механической системы. Величины неуравновешенности закладываются в алгоритм функционирования механизма на стадии проектирования. Алгоритм может быть жестким или корректируемым в процессе испытания в зависимости от конкретных наблюдаемых параметров. Кроме того, управление неуравновешенностью может быть традиционно осуществлено по координате, скорости и ускорению.

Также возможны реализации способов увеличения (уменьшения) кинетической энергии звена за счет перераспределения кинетической энергии совокупной механической системы стенда, в том числе, за счет энергии звеньев, не участвующих в процессе испытания или не влияющих существенным образом на характер испытания.

**А.Н. Семенюк, С.В. Веселов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ РОТАЦИОННЫХ СТЕНДОВ**

Для контроля качества вновь создаваемых изделий широкой гаммы применения используют ротационные стенды, основными этапами создания которых могут быть следующие.

1. Исследуются внешние возмущения. По ансамблю реализаций результатов измерений составляется математическая модель возмущения, которая может быть отнесена к одному из классов.

2. Согласно классификации модели внешних возмущений выбирают методы и средства воспроизведения параметров движения. Наибольшие трудности представляет собой процесс отыскания траектории движения изделия на ротационном стенде. Таких траекторий может быть бесконечно много. Выбор единственной траектории осуществляется с помощью наложения дополнительных условий, таких как минимальные энергозатраты, скорости или ускорения и т.д. После того как траектория определена, синтезируют механизм, обеспечивающий движение изделия в силовом поле, создаваемом центрифугой. Данный этап заканчивается при наличии у разработчика одной или набора кинематических схем, реализующих один или несколько методов воспроизведения параметров движения.

3. Составляется кинематическая модель стенда. Определяются методические погрешности воспроизведения заданного испытательного воздействия. В случае невозможности удовлетворения требований к величинам методических погрешностей на различных участках изменяют геометрические параметры звеньев стенда.

4. Определяются параметры движения звеньев стенда для наиболее жестких законов изменения испытательного воздействия. Проводятся прикидочные прочностные расчеты, по результатам которых определяют инерционные параметры звеньев стенда. Пользуясь результатами данного этапа, определяют силовые и энергетические параметры приводов звеньев. Здесь же определяют их тип и параметры.

5. Составляют динамическую модель стенда, проверяют критерии динамической уравновешенности и инвариантности приводов.

6. В случае удовлетворения всем предъявляемым к стенду требованиям дополнительно проводят оптимизацию отдельных параметров механических систем, приводов или элементов.

**А.Н. Семенюк, А.С. Клементьев, С.В. Веселов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОТАЦИОННЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ**

Проектирование ротационных стендов как сложной механической системы в значительной степени опирается на машинный эксперимент, в котором проверяется соответствие проектных решений заданному воздействию. В настоящее время известно большое количество работ, посвящен-



ных вопросам построения моделей динамики и перехода от них к машинному эксперименту. Не все известные модели проходят испытание практикой, так как при создании стендов отдается предпочтение универсальности, строгости, полноте и оригинальности модели.

Задачи проектирования ротационных стендов не возможно решить с помощью одной универсальной модели, пригодной для всех задач инженерной практики. Создание такой модели не вызывает принципиальных затруднений, но в практической реализации это приводит к значительным вычислительным трудностям и затратам. Необходимо также отметить, что анализ результатов математического моделирования при проектировании сложно сопоставить с физическими свойствами стенда, так как все элементы или связи равноправны, и влияние каждого элемента на динамику стенда в целом трудно оценить. Поэтому необходим индивидуальный подход к «весу» каждого элемента и связи в динамике стенда. Реализовать такой метод можно сопоставлением результатов моделирования с учетом и без учета тех элементов, «вес» которых определяется. Таким образом, мы приходим к усечению модели и получаем специализированную под конкретную задачу модель стенда. Процедура вычислений не содержит лишних элементов, что является преимуществом специализированной версии. На практике сведения о ротационном стенде получают на основе нескольких специализированных моделей, каждая из которых описывает динамику стенда в отдельной фазе испытания. Следовательно, мы имеем не одну модель, а совокупность, дополняющих и развивающих друг друга – иерархию моделей, построенных по определенному принципу.

Выявленные особенности ротационных стендов образуют основу для построения системы моделей динамики в виде иерархического ряда. Каждая последующая модель сложнее предыдущей и уточняет ее за счет учета дополнительных физических свойств реальных объектов в соответствии с задачами этапов проектирования.

**А.В. Скориков, Э.В. Кучнова, Е.А. Кайгородов, В.А. Гайдамакин**  
*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

## **ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Диффузионное алитирование (ДА) порошковых материалов является одним из методов химико-термической обработки, с помощью которого можно существенно повысить физико-механические свойства, уменьшить пористость, увеличить коррозионную и жаростойкость.

Разработанный способ высокотемпературного ДА горячедеформированных порошковых материалов на основе железа обеспечивает получение беспористых диффузионных слоев, отличающихся высокой твердостью (9000...11000 МПа), коррозионной и жаростойкостью.

Образцы для исследований изготавливались из железного порошка ПЖР 2.200.28 с добавлением углерода или без него методом статического прессования и горячей штамповки. ДА проводилось в ванне расплавленного алюминия при 850...1150°С в течение 0,3...2,5 ч. в алуновом тиглях.

В результате на образцах были получены диффузионные слои глубиной 500...1000 мкм с содержанием Al до 55 мас.% на поверхности и состоящие из твердого раствора Al и Fe и интерметаллидов.

Высокая микротвердость интерметаллидов, которая практически линейно зависит от содержания Al, определяет износостойкость алитированных слоев. Это позволяет рекомендовать ДА для упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях сухого трения при повышенных температурах.

Одним из недостатков данного метода является неудовлетворительная шероховатость полученной поверхности. Поэтому заключительным этапом данной технологии является механическая обработка поверхности. Даже после обычного алмазного шлифования характеристики порошковых материалов повышаются в сравнении с нешлифованными на 10...12% при испытании на изгибную прочность и до 30% на ударную вязкость. При проведении специальных мероприятий по уменьшению контактной температуры при шлифовании изгибная прочность увеличивается на 20-25% и до 45% повышается ударная вязкость.

Но нестабильность припуска, качества кругов, флуктуации механических свойств корки приводят к нарушению самозатачивания, падению производительности шлифования или к появлению брака. Все это крайне затрудняет выбор рациональных режимов обработки, так как шлифование является одной из наименее исследованных областей резания металлов. При исследовании шлифования до сих пор, как правило, пользовались формулами Ольдена-Дженкса, Маслова, традиционной схемой фрезерования, базирующимися на многочисленных допущениях и плохо согласующимися с экспериментальными данными, которые по важнейшим параметрам процесса и продольному профилю рисков также практически отсутствуют.

Для выяснения причин нестабильности механической обработки на станке ЗГ71 были получены образцы с прерванным процессом шлифования. На образце был выбран характерный участок площадью 8 мм<sup>2</sup>, на котором были проведены замеры глубины рисков через каждые 0,05 мм, а также промеры длины и ширины. Всего измерено 143 риска. Средняя глу-

бина риски  $t = t_{cp} \pm \sigma_t = 0,0024 \pm 0,0001$  мм, относительная ошибка  $f_t = 8,14\%$ . Среднестатистический продольный профиль риски характерен очень интенсивным заглаблением зерна в начальной стадии врезания.

На основании проведенных исследований по обрабатываемости шлифованием данных материалов предложены следующие оптимальные режимы обработки. Для круга с 100%-й концентрацией алмазов АСО16 на органической связке Б1 в чистовом режиме и работе без охлаждения скорость круга 20 м/с, продольная подача стола 2 м/мин, поперечная подача 0,01 мм/дв.ход. При этом удельный расход алмаза составляет 0,16 мг/г.

**Р.А. Тихомиров, Е.Н. Петухов, Д.В. Кравченко, Р.А. Кузьмин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ СВЕРХЗВУКОВЫМИ СТРУЯМИ ЖИДКОСТИ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА**

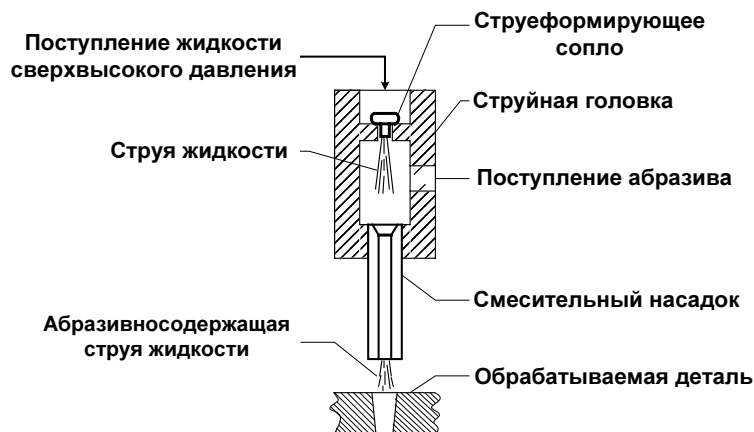
В результате проведения во многих странах мира научно-исследовательских работ в области обработки конструкционных материалов принципиально новым методом – гидрорезанием этот способ обработки успешно внедряется во все сферы производства как в России, так и за рубежом. В настоящее время в мире насчитывается более 10 000 гидрорежущих станков различного технологического назначения. Из них около 70 единиц изготовлено в РФ на базе научных разработок, проводимых в ВлГУ.

Гидрорежущее оборудование основано на использовании в качестве режущего инструмента тонкой (0,1...0,3 мм) сверхзвуковой струи (400...1000 м/с) жидкости различного состава. При этом используются разнообразные составы рабочей жидкости – вода, глицерин, минеральные масла, спирты, растворы полимеров в воде и ПАВ, абразивно-жидкостная суспензия.

Струя воды, подаваемая под давлением 400 МПа через сапфировое сопло диаметром 0,1 мм и выходящая из него со скоростью 900 м/с (в 3 раза выше скорости распространения звука в воздухе), обладает большой кинетической энергией и используется для резки чувствительных к нагружению материалов, таких как бумага, ткани, пластмасса. Водной струей можно резать практически любые материалы толщиной до 30 мм, однако наибольший эффект достигнут при резке материалов толщиной 2...6 мм. В этом случае водяная струя успешно конкурирует с лазерным лучом.

Кинетической энергии струи чистой воды недостаточно для резания

твердых материалов, поэтому для обработки металлов и керамики применяют водно-абразивную смесь (см. рисунок). В настоящее время в установках для абразивно-жидкостной струйной обработки используют давления до 350 МПа и диаметры сопел 0,1...0,3 мм. Применение абразивно-жидкостной струи обеспечивает получение высокой производительности, универсальность и эффективность решения многих проблем обработки материалов. Спектр обрабатываемых материалов очень широк: от пеноматериалов, резин и пластиков до сталей, титана, алюминия, кевлара и проч.



*Схема обработки сверхзвуковыми абразивно-жидкостными струями*

Абразивно-жидкостная струйная технология отличается следующими преимуществами по сравнению с традиционными и нетрадиционными процессами обработки:

1. Отсутствие теплового воздействия. Генерируемое тепло практически мгновенно уносится водой. В результате не происходит заметного повышения температуры в заготовке. Эта характеристика решающая, особенно, когда обрабатываемый материал чувствителен к нагреву.

2. Высокая универсальность обработки. Абразивно-жидкостная струя особенно эффективна при обработке многих труднообрабатываемых материалов, таких как, например, титановые сплавы, различные виды высокопрочных керамик, высокопрочных сталей и композитных материалов.

3. Способность воспроизводить сложные контуры. Сверхзвуковой струей возможно обрабатывать очень сложные формы или скосы под любым углом в дополнение к трехмерному профилированию, поскольку процесс однонаправленный.

4. Хорошее качество обработанной поверхности. При обработке возможно достигать шероховатость полученной поверхности 3,2...6,3 мкм, т.е. нет потребности в последующей обработке. Малая ширина реза позволяет экономить дефицитные материалы при их раскрое.

5. Уникальная возможность автоматизации. Возможно внедрять в

процесс управляемые компьютером системы, оптические следящие устройства и шестикоординатные роботы.

6. Доступность. Поскольку используемые в процессе обработки вода в качестве рабочей жидкости и кварцевый песок в качестве абразивного материала являются низкостоящими, процесс широко доступен.

7. Низкое потребление воды. Среднее потребление воды в абразивно-жидкостном режущем устройстве – около 0,473 л/мин (28 л/ч), несмотря на высокие давления использования (вплоть до 400 МПа).

8. Вопросы безопасности и экологии. Поскольку нет тепла, накапливаемого при абразивно-жидкостной струйной обработке, процесс взрыво- и пожаробезопасен. Отсутствуют радиационное излучение, опасность вылета шлаковых или мелкодисперсных частиц. Переносимая по воздуху пыль фактически устранена. Уровень шума колеблется от 85 до 95 дБ. За рубежом способ разрешен Управлением по пищевым и лекарственным продуктам к внедрению на пищевых производствах.

Используемые гидрорежущие станки предназначены: для резки листовых материалов, фигурной обработки по контуру; прорезки в них сквозных или глухих пазов, окон и отверстий любой конфигурации; для поверхностной обработки материалов и изделий, зачистки и полировки наружных и внутренних поверхностей изделий, в том числе цистерн, баков, теплообменников и др. емкостей.

В настоящее время в ВлГУ проводятся исследования, направленные на изучение возможностей использования абразивно-жидкостной струи в качестве режущего инструмента для прошивания и трепанации отверстий. Одним из применений может служить изготовление отверстий в автомобильных бамперах для установки световых приборов и их очистителей, элементов устройств для сцепки и парковки и др. В этих случаях сопловая головка может перемещаться промышленным роботом по заданной программе. Другим применением является прошивание отверстий малых (0,1...3,0 мм) диаметров, например, в тех случаях, когда количество отверстий в труднообрабатываемых материалах достигает сотен тысяч на кв.м (сепаратные сита).

Несмотря на значительные преимущества абразивно-жидкостной струйной обработки материалов: высокая производительность, высокая точность, отсутствие нагрева обрабатываемой поверхности, экономичность, минимизация загрязнения окружающей среды, этот способ еще не нашел должного применения на промышленных предприятиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрорезание судостроительных материалов / Р.А. Тихомиров, В.Ф. Бабанин, Е.Н. Петухов и др. – Л: Судостроение, 1987. – 164 с.

2. Кравченко Д.В., Тихомиров Р.А. Применение абразивно-водоструйной обработки для перфорирования отверстий малых диаметров в листовых материалах // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы науч.-техн. конф. / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1999. – С. 69.

**Л.А. Хоменко, Р.А. Тихомиров, Е.Н. Петухов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **О ПРОБЛЕМЕ ОБРАБОТКИ ФОЛЬГИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ ЖИДКОСТИ**

В настоящее время изделия из пластмасс (полимеров) потребляются почти во всех областях народного хозяйства: в машиностроении, электротехнической промышленности и т.д., что позволяет заменить и сэкономить большое количество черных и цветных металлов. В значительных количествах и с большим экономическим эффектом полимеры используются в легкой и пищевой промышленности. Это дает возможность полнее удовлетворять потребности населения в товарах культурно-бытового и хозяйственного назначения.

Среди этих материалов применяются также и фольгированные с двух и с одной стороны полимеры, такие как фольгированный текстолит, стеклотекстолит, гетинакс. Производство листовых фольгированных пластиков, получение изделий или полуфабрикатов из них не обходится без применения операции механического разрезания, которая является широко распространенным и одним из ответственных видов механической обработки в технологическом процессе изготовления, т.е. разрезание различными пилами, фрезами, шлифовальными кругами, алмазными дисками, приводными ножницами. Одними из главных недостатков механической обработки листовых фольгированных полимеров являются вспучивание фольгированного покрытия, а также получение достаточно широкого реза с различными сколами, вырывами, трещинами и расслоениями и другие трудности. Эти трудности заключаются в быстром затуплении режущего инструмента, большом браке по линии реза, шуме и запыленности рабочего места, в появлении прижогов в обрабатываемом фольгированном полимере, в трудоемкости получения фигурных профилей. Изготовление специального режущего инструмента и переточки стандартного режущего инструмента усложняют технологию изготовления изделий из полимерных фольгированных материалов и увеличивают себестоимость продукции. Образование большого количества стружки, измеряемого тоннами в год, ведет не только к увеличению отходов ценного материала, но и запыляет рабочее место. Пыль, стружка, особенно полученная при обработке стеклопластиков, оказывает раздражающее действие на кожный по-

кров и дыхательные пути обслуживающего персонала. В процессе механической обработки фольгированных полимерных материалов в результате повышения температуры в зоне резания из большинства фольгированных пластиков выделяются газы ( фенол, хлористый водород и т.п.) которые вредны для здоровья и ускоряют коррозию оборудования. Для ликвидации запыленности и загазованности рабочего места разрезные станки оснащаются пылеотсасывающими установками, приводная мощность некоторых из них превышает требуемую мощность привода главного движения.

Разрезка листовых фольгированных полимеров дисковыми фрезами сопряжена с большим шумом, вызывающим необходимость применения наушников.

Низкие плотность и твердость, невысокая теплостойкость, крайне низкая теплопроводность, высокое сопротивление воздействию вибрации, истирающее действие на режущей кромке инструмента - все эти физико-механические свойства фольгированных полимеров оказывают большое влияние на производительность механической обработки.

Известно, что при механической обработке температура сосредотачиваясь в поверхностном слое обрабатываемого материала, одновременно с действием резких динамических нагрузок вызывает разложение поверхностного слоя материала и служит причиной образования расслоений, задиров на обрабатываемой поверхности, а также других видов брака.

В связи с высоким коэффициентом термического расширения фольгированных полимеров при их обработке возникают дополнительные трудности, вызванные температурным расширением изделия, что приводит к увеличению работы трения между обрабатываемой поверхностью изделия и задней, и боковыми поверхностями режущего инструмента.

Таким образом, увеличение интенсивности изнашивания при повышении скорости резания объясняется ростом температур в зоне резания, лучшей сцепляемостью нагретой пластмассы с частицами твердого сплава, увеличением абразивных свойств стеклонаполнителей при термодеструкции связующего, возрастающей динамичностью процесса резания.

На основании проведенного анализа следует, что увеличение производительности механического разрезания листовых фольгированных полимеров за счет увеличения режимов резания из-за особенностей структуры и механических свойств обрабатываемого материала не возможно, так как с увеличением режимов резания резко уменьшается стойкость инструмента и снижается качество обработанной поверхности. Вследствие этого, внедрение в промышленность скоростного и более мощного оборудования для резки листовых фольгированных полимерных материалов в настоящее время ограничено.

В последнее время исследователи в целях резкого увеличения стойкости инструмента, повышения качества обработки и производительности процесса резания все больше и больше отходят от применения традиционных методов механической обработки. Наиболее приемлемым методом обработки фольгированных полимеров является гидрорезание. Гидрорезание позволяет решить все проблемы обработки фольгированных полимеров, указанные выше, а также данный метод эффективно применяется при обработке материалов любой твердости, вязкости, хрупкости и химической активности, не требует применения инструмента из более твердого материала, чем материал обрабатываемого изделия, делает возможным получение фигурных профилей любой сложности, при обработке нет жесткой замкнутой цепи в системе СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь), что повышает качество и точность обработки.

Такие преимущества как технологичность, дешевизна, простота оборудования, ликвидация шума и запыленности рабочего места, возможность автоматизации и программирования процесса явилось причиной распространения в различных отраслях промышленности прогрессивного способа гидрообработки, основной особенностью которого является замена металлического режущего инструмента струей жидкости, являющейся по существу, не изнашивающимся инструментом, что позволило снизить трудоемкость и увеличить производительность выполняемых работ.

Однако исследования в области обработки фольгированных полимеров гидрорезанием почти не проводились, поэтому данный вопрос вызывает огромный интерес. Дальнейшие исследования будут направлены на установление: наиболее оптимальных режимов резания, влияния параметров истечения струи на силу резания, влияния расстояния между обрабатываемым материалом и соплом на процесс гидрорезания, влияния количества проходов струи по одной плоскости обрабатываемого материала на производительность и качество гидрообработки; а также построение математической модели, повышение производительности и качества обработки струей жидкости.



**Г.И. Шульга**

*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

**Т.Г. Шульга**

*Россия, г. Новочеркасск, ООО НПП «ТЭСП»*

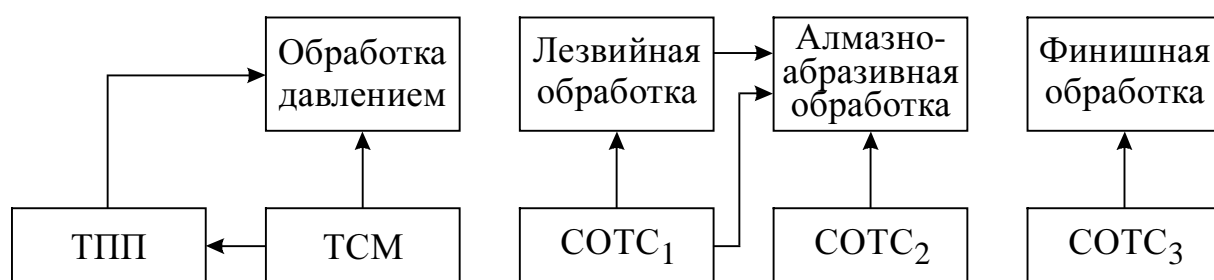
## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРИБОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

Новыми тенденциями развития современного машиностроения в области механической обработки является создание интеллектуальных (адаптирующихся) триботехнологий. Разработка таких технологий стала возможной вследствие развития трибологии, инженерии поверхности (surface engineering), синергетики, изучающей процессы устойчивости и распада диссипативных структур различной природы, в том числе солитонов, фононов; формирования новой парадигмы управления свойствами материалов, изменением их фрактальной структуры, инженерной экологии, микробиологии и др. [1, 2].

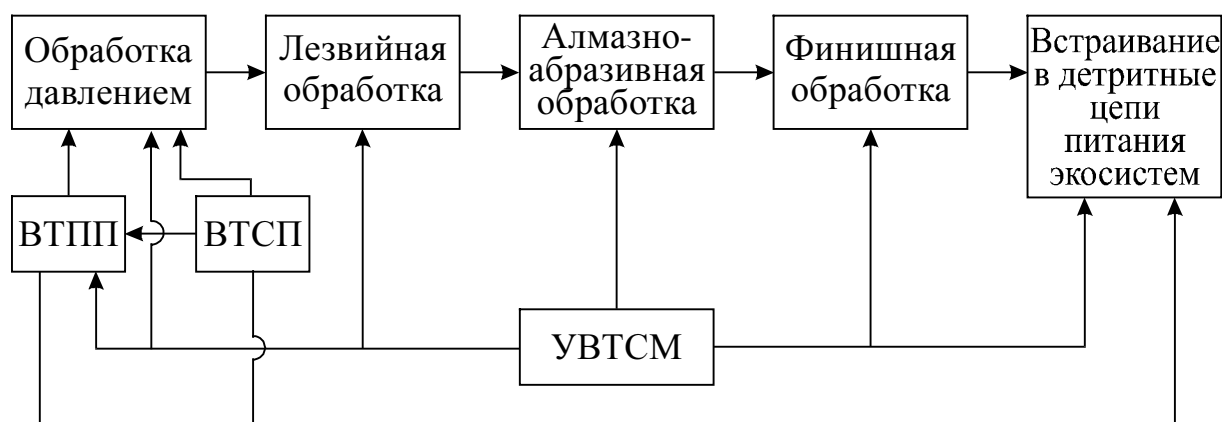
Под интеллектуальными триботехнологиями при механической обработке понимают разработку, изготовление водорастворимых технологических смазочных средств (ВТСС): экологически чистых универсальных водорастворимых технологических смазочных материалов (УВТСМ), подсмазочных (ВТПП), смазочных (ВТСП) покрытий по гибким технологиям с заданным комплексом свойств, обеспечивающих их применение индивидуально или совместно при обработках: давлением, лезвийной, абразивной, финишной. Такие ВТСС способны формировать в зоне контакта инструмент – обрабатываемое изделие диссипативные фрактальные структуры, обладающие свойствами живой клетки, облегчающие обработку материалов и снижающие изнашивание инструмента. Фрактальные структуры обладают свойствами самоподобия, адаптации к внешним воздействиям, способны к самоорганизации путем перестройки структуры в точках бифуркаций. При попадании ВТСС в почву и воду происходит встраивание их в детритные цепи питания экосистем, не вызывая антропогенной нагрузки выше нулевой или временной «упругой» дегенерации. При попадании в почву ВТСС подвергаются биодеградации основными экологическими группами микроорганизмов: гетеротрофов, олигокарбофилов, микроскопических грибов, микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, а в воде являются питательной средой для культуры *Paramecium caudatum*. После проведения технологических операций предусмотрены рекуперация, регенерация, использование ВТСС в строительном деле.

Технологические процессы при механической обработке могут быть рассмотрены как трибообъекты, а пары трения при смазывании техноло-

гическими смазочными средствами (ТСС) инструмент – ТСС – обрабатываемое изделие – окружающая среда как трибосистемы. В зависимости от применяемых ТСС могут быть реализованы различные схемы триботехнологий. Схемы применяемых в машиностроении триботехнологий, приведенные на рис., а, имеют дискретный характер, так как в каждом трибообъекте используют свои ТСС при обработках давлением – технологические смазочные материалы (ТСМ), лезвийной, алмазно-абразивной, финишной – смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС): соответственно СОТС<sub>1</sub>, СОТС<sub>2</sub>, СОТС<sub>3</sub>. При лезвийной и алмазно-абразивной обработке может использоваться СОТС<sub>1</sub>. При тяжелых условиях штамповки, глубокой многопереходной вытяжки применяют технологические подмазочные покрытия (ТПП) совместно с ТСМ.



а



б

Схемы триботехнологий при механической обработке с использованием ТСС:  
а – дискретная; б – интеллектуальная

Схемы интеллектуальных триботехнологий, приведенные на рис., б, имеют непрерывный характер. Обработки: давлением, лезвийная, алмазно-абразивная, финишная – могут осуществляться с использованием УВТСМ. При тяжелых условиях штамповки, глубокой многопереходной вытяжки, когда УВТСМ не в полной мере обеспечивают технологические процессы,

используют ВТПП совместно с УВТСМ. В роботизированных комплексах применяют ВТСП совместно с ВТПП.

Разработаны УВТСМ типа РВ: РВ-3, РВ-3УМ, РВ-11, РВ-14, РВ-15 и др., ВТПП типа ПВ: ПВ-2, ПВ-3 марок А и Б, ВТСП типа ВСП-1, ВСП-2, используемые при обработке углеродистых, труднообрабатываемых коррозионностойких сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов, магнитных порошковых материалов, титановых сплавов, сплавов на основе редких материалов.

Реализация интеллектуальных триботехнологий с использованием разработанных ВТСС открывает широкие перспективы их применения при механической обработке современных материалов, улучшения условий труда работающих, уменьшения загрязнения окружающей среды.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Иванова В.С. От дислокаций к фракталам. Ч.2: Фрактальная синергетика и «интеллектуальные» материалы // *Материаловедение*. – 2001. – № 1. – С.22–29.
2. Шульга Г.И., Шульга Т.Г. Водорастворимые технологические смазочные средства для обработки материалов и их влияние на окружающую среду // *Современные технологии в машиностроении: Сб. материалов IV Всероссий. науч.-практ. конф. Ч. II*. – Пенза: ПДЗ, 2001. – С. 99–102.

**В.И. Югов, Н.Г. Рассказчиков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА, СТЕКЛОВОЛОКОН, СТЕКЛОТКАНЕЙ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

Целью исследований является установление оптимальных режимов лазерной резки стекловолокон, стеклотканей и материалов на их основе, процесса термоупрочнения ножей рубочных машин, чугунных литейных форм для производства стеклотары и формулирование требований к оборудованию.

Основное внимание уделено процессу лазерной разделительной резки текстильных, рулонных, листовых и объемных кровельных, теплоизоляционных, шумопоглощающих и конструкционных материалов на основе стеклонитей, стекловолокон, стеклотканей, базальтовых нитей, волокон и тканей. Многие из этих материалов являются композиционными ввиду использования полимерных связующих и органических наполнителей. Лазерная резка рассматривается как альтернативная механическим способам разделения материалов, позволяющая получить высокую производитель-

ность, хорошее качество реза с оплавлением края разрезаемого образца, предотвращая его распускание, расслаивание или выкрашивание, позволяющая использовать достаточно универсальное оборудование для широкой гаммы рассматриваемых материалов.

Эксперименты по резке проводились на установках ТЛ-1,5, «Гарпун-2000» и Rofin Sinar на следующих материалах:

- ткань стеклянная конструкционная марки Т-11 (ГОСТ 19170-73);
- ткань стеклянная конструкционная марки Т-13 (ГОСТ 19170-73);
- ткань базальтовая марки БТ-10 (ТУ 5952-031-00204949-95);
- стеклопластик рулонный марки РСТ-200К, РСТ-200КА, РСТ-200ЛК, РСТ-200ЛКА (ТУ6-48-87-92);
- стеклопластик рулонный марки РСТ-200КАЛ (с алюминиевой пудрой) (ТУ6-48-87-92);
- стеклопластик листовой толщиной 2 мм;
- стеклотекстолит фольгированный толщиной 1 мм;
- полотно стекловолоконное холстопршивное марки ПСХ-Т450 (1000) (ТУ6-48-97-93);
- стекловолоконная плита толщиной 10 мм;
- стеклообои;
- рулонный кровельный материал и «гидроизол» на основе стеклоткани с пропиткой, с крошкой и без крошки, толщиной 3 мм.

На образцах получен чистый рез шириной не более диаметра пятна излучения с оплавленными кромками.

В литературе встречается ограниченное число публикаций, посвященных исследованию воздействия лазерного излучения на композиционные материалы, в том числе на основе стеклотекстиля. С точки зрения взаимодействия с лазерным излучением стекловолоконные тканые и нетканые материалы представляют собой типичные светорассеивающие вещества, в которых поглощающими и рассеивающими элементами являются отдельные волокна и нити. В силу особенностей строения у большинства этих материалов отсутствуют четко выраженные фазовые границы раздела, поверхность у них, как правило, рыхлая и по существу не непрерывная. Такие материалы хорошо рассеивают падающее на них излучение как при отражении, так и при пропускании. Полимерные материалы, используемые в качестве связующих в стеклопластиках (на основе латексов, фенолформальдегидных смол, эпоксидных смол), не являются оптически прозрачными в инфракрасной области спектра вследствие сильного поглощения и рассеивания. Процесс поглощения и релаксации энергии лазерного излучения происходит иначе, чем в металлах и сильнопоглощающих полупроводниках. В первую очередь, в связи с тем, что проводимость этих веществ

практически равна нулю, диссипация электромагнитного поля может быть затруднена. Во вторую очередь – для органических полимеров реакции, инициируемые лазерным излучением, могут отличаться от обычных термических реакций. Эти процессы могут начинаться при неравновесном распределении энергии. При этом такие стадии, как разрыв связей, элиминирование и т.д. протекают за очень короткое время, много меньшее, чем необходимо для перераспределения энергии в тепло. В случае воздействия лазерного излучения на материал органического, в том числе полимерного, строения в облучаемом веществе происходят последовательно или в сочетаниях, зависящих от конкретных условий, процессы фотодеструкции, термической и термоокислительной деструкции, диффузионные и тому подобные процессы, переходящие на макроуровне в чисто механическое разрушение.

Эксперименты по лазерному термоупрочнению и наплавке литейных форм для производства стеклопосуды проводились на установке для термообработки «ЛН-2,5(3,5)НМ-И1». На образцах в зоне обработки на глубину 0,5 мм получена твердость HRC 28...30 после рабочего контакта формы со стекломассой, имеющей температуру 970...1100°С, ожидается увеличение износостойкости и ресурса работы формы в 1,5...2,0 раза.

На основе результатов предварительных исследований составлена математическая модель процесса термоупрочнения поверхности ножей и чугуновых форм, проведены моделирование тепловых полей в среде универсального конечно-элементного комплекса ANSYS и исследование образцов, включая микроструктуру материала после лазерной обработки, испытание на теплостойкость и т.д.

## **Секция 2**

# **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

---

**А.В. Баранов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

### **АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Оптимизация операций механической обработки связана с определением такого режима работы станочного оборудования, который научно обоснованно гарантирует получение готовой детали требуемого качества при минимальной стоимости. Решение этой сложной технико-экономической задачи не может быть в полной мере осуществлено широко распространенным в настоящий момент экспериментальным методом определения режимов резания, основанным на проведении трудоемких и дорогостоящих стойкостных опытов с получением степенных формул для скорости резания. Малая гибкость и оперативность экспериментального метода приходят в противоречие с современными требованиями резкого сокращения сроков технологической подготовки производства новых изделий машиностроения. Последнее особенно проявляется при переходе на изготовление деталей из новых сталей и сплавов, которые наиболее часто меняются в космической, оборонной, авиационной, энергетической, судостроительной и других отраслях машиностроения и для обработки которых нет готовых экспериментальных формул для определения скоростей резания.

Задача научно обоснованного нормирования операций механической обработки может быть успешно решена аналитическим методом определения режимов резания, основу которого составляют обобщенные математические модели, устанавливающие связь между всеми наиболее важными параметрами процесса резания.

Усложнение конструкций деталей, повышение требований к качеству обработки предполагает увеличение объема операций лезвийной обработки, среди которых операции по обработке отверстий занимают особо заметное место. Осевые инструменты для лезвийной обработки отверстий – сверла, зенкеры, развертки являются наиболее распространенными в общей массе инструментов, используемых для изготовления деталей машин,

60% которых имеют отверстия различных видов. Обработка этими инструментами во многих случаях наиболее экономичный способ получения отверстий.

Выполненные исследования позволили разработать аналитический метод определения режимов резания при сверлении, зенкеровании и развертывании на основе составленного уравнения баланса механической и тепловой энергий, получить аналитические зависимости для определения оптимальных по износостойкости инструмента скоростей резания, а также скоростей минимальной себестоимости обработки и максимальной производительности при обеспечении заданного качества деталей.

Была разработана конструктивная схема комплексно-теоретического инструмента для сверл, зенкеров и разверток, на основе которой создана единая математическая модель для расчета скоростей резания, получены аналитические выражения для определения: угла наклона условной плоскости сдвига, количеств тепла, уходящих из зоны резания в стружку, инструмент и заготовку, температурных полей, контактных температур и составляющих силы резания с учетом специфики рассматриваемых процессов. На основе разработанного математического обеспечения создана единая методика расчета оптимальных по критериям качества и стоимости скоростей резания и геометрии инструмента для процессов сверления, зенкерования и развертывания.

Созданы алгоритмы и программы расчета основных параметров процессов обработки отверстий осевым лезвийным инструментом. Реализована возможность обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя и точности обработки отверстий на стадии конструкторско-технологической подготовки производства новых изделий машиностроения с использованием ЭВМ.

Методика позволяет решать вопросы, возникающие у технолога: а) выбор наиболее эффективного инструментального материала по износостойкости; б) определение целесообразной геометрии режущей части инструмента; в) определение оптимальных режимов резания.

При оптимизации операций использовались следующие критерии оптимизации: критерий максимальной размерной стойкости инструмента; критерий минимальной технологической себестоимости; критерий максимальной производительности. При научно обоснованном нормировании операций каждый из выше перечисленных критериев оптимизации применяется при условии гарантированного обеспечения критерия качества, определяющего выпуск деталей в соответствии с требованиями рабочего чертежа.

Отдельные результаты разработки внедрены на ряде крупных машиностроительных предприятий и в НИИ.

**А.А. Барзов, А.Л. Галиновский**

*Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

## **АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНОГО КЛЕЕСБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Широкое применение алмазного инструмента для обработки конструкционных материалов на большинстве технологических операций производственного процесса, его растущий выпуск, обуславливают необходимость повышения эффективности использования.

Надежность и долговечность алмазного инструмента зависит от напряжений, возникающих в поверхностных слоях при обработке. Напряжения тесно связаны с температурой, которая влияет на износ режущих кромок и на диффузионные процессы, происходящие в контактных поверхностях. Теплофизический анализ позволяет установить области режимов, при которых целесообразно использовать материалы с той или иной степенью температурной устойчивости, оценить возможность применения клеесборного соединения и выбрать марку клея, которая бы отвечала всем необходимым требованиям эксплуатации. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что композиционные режущие элементы на основе сплавов группы ВК могут быть рекомендованы для использования в инструменте для обработки композиционных, конструкционных и строительных материалов, на операциях шлифования, фрезерования, резки, сверления и т.д. Режущие элементы получены методом электроимпульсного прессования порошков алмаза и твердого сплава. Сделан вывод о целесообразности применения в клеесборном соединении клея марки ВК36РТ-140.

Анализ упругих колебаний, возникающих в зоне обработки, позволяет решить вопросы, связанные с износом инструмента, его геометрией и физико-механическими свойствами; выбрать оптимальный режим резания и условия эксплуатации, повысить качество обработанной поверхности. Метод акустической эмиссии является при этом наиболее перспективным способом неразрушающего контроля.



**А.А. Барзов, Э.Ю. Пшеничников, Р.Ф. Газизуллин**

*Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ВПМЗ «Молот»*

## **АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-КИНЕТИЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Выполненными в МГТУ им. Н.Э. Баумана исследованиями с использованием метода акустической эмиссии (АЭ) было установлено влияние структурно-кинетического фактора (СКФ) формообразования на выходные параметры обработки деталей. В первом приближении под СКФ понимается способность обрабатываемого материала детали изменять свои физико-механические характеристики во времени в результате технологического воздействия и тем самым влиять не только на параметры детали, но и на условия ее обработки. Характерными примерами проявления СКФ являются хорошо известные релаксационные процессы, изменяющие геометрические и физико-механические параметры деталей (особенно поверхностного слоя). Однако, проявление физической сущности СКФ не ограничивается временем только после завершения процесса формообразования. Действительно, даже при анализе таких распространенных операций как точение и фрезерование, очевидно, что в ходе выполнения создаются все необходимые и достаточные условия для реализации эффектов СКФ. Поэтому условно классифицируем СКФ на маршрутный (время между выполнением актуальных операций); операционный (время между выполнением проходов, например при черновом и чистовом точении); внутриоперационный (время между сложными технологическими воздействиями на срезаемый слой, например при точении – время одного оборота детали).

Очевидно, что СКФ является тонким механизмом влияния релаксационно-кинетических процессов (тепловых, структурно-деформационных и др.) на выходные характеристики обработки и его необходимо учитывать при изготовлении прецизионных деталей. Особенно ярко должен проявляться СКФ на операциях, связанных с интенсивной пластической деформацией обрабатываемого материала, например при раскатке и ротационной вытяжке деталей из высокопластичных конструкционных материалов, которые затем подвергаются механической обработке резанием. Изменение структурно-временных условий формообразования из-за сложной формы деталей также способствует проявлению СКФ, даже при сохранении неизменных режимов обработки, в частности постоянной скорости резания.

Эффективным методом изучения СКФ является метод АЭ, который позволяет анализировать энергетику высокочастотных динамических про-

цессов в зоне структуро- и формообразования неразрывно связанных с процессами трения, пластического деформирования и разрушения обрабатываемого материала. В частности, методом АЭ было показано, что СКФ влияет на оптимальные режимы механической обработки (внутриоперационный СКФ). Кроме того, по параметрам АЭ можно определить оптимальное время между технологическими воздействиями по критерию минимума шероховатости обработанной поверхности (маршрутный, операционный и внутриоперационный СКФ).

Следующим этапом изучения и практического использования СКФ является оптимизация условий выполнения смежных операций, например совокупности операций раскатывания, термообработки и обработки резанием. Очевидно, что в этом случае применение АЭ позволит получить оперативную и достоверную информацию о проявлении СКФ и тем самым оптимизировать технологические режимы структуро- и формообразования весьма точных деталей из высокопластичных материалов, склонных к релаксационно-временным эффектам.

В заключении следует отметить, что СКФ по существу является одним из слагаемых более общего понятия «технологическая наследственность» и должен изучаться в аспекте сохранения и изменения свойств конструкционных материалов от заготовительных до заключительных технологических операций. Причем, оптимизация технологических параметров изготовления деталей должна в обязательном порядке учитывать условия их функционирования и рассматриваться в рамках эксплуатационно-технологической наследственности. В частности, необходимо адаптировать режимы технологического воздействия на деталь на заключительных структуро- и формообразующих операциях к условиям ее последующей эксплуатации, т.е. осуществить своеобразную «технологическую тренировку» конструкционного материала.

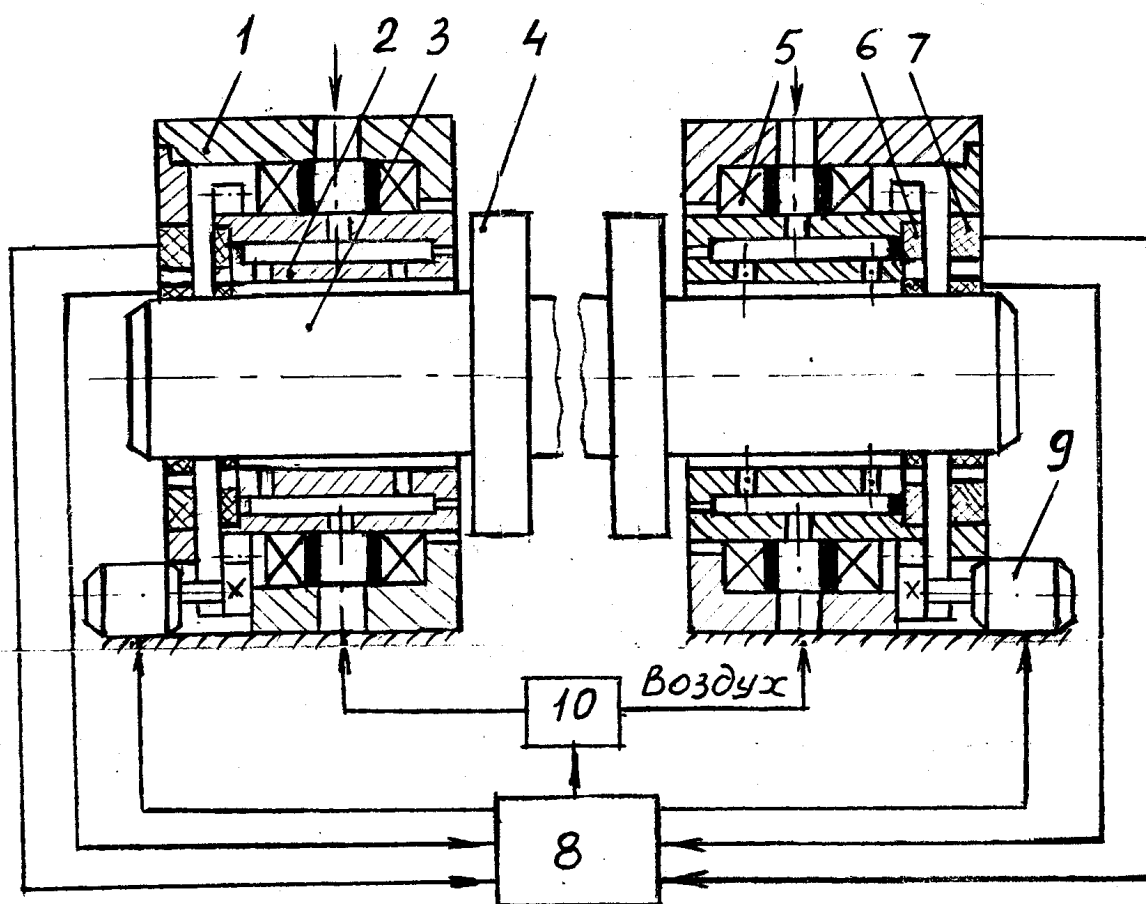
**В.В. Гавшин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИЕСЯ ГАЗОСТАТИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ УЗЛЫ**

Самоустанавливающиеся опоры применяют при недостаточно жестких валах и корпусах, разнесенных на большие расстояния, когда трудно обеспечить точную соосность, а также при нагрузке переменного направления для демпфирования колебаний вала [1].

Разрабатываемые конструкции опорных узлов (см. рис.) содержат две газостатические радиально-торцевые 2, 4 опоры, установленные с помощью подшипников качения 5 в корпусах 1.



*Схема конструкции опорных узлов*

Для определения относительного положения вала 3 при действии переменной нагрузки и момента перекося узлы снабжены датчиками радиального и углового положений 6 и 7, электрически соединенными с системой автоматического регулирования 8, содержащей универсальные элементы промышленной пневматики [2].

Принимая за центр приведения главного вектора и главного момента действующей нагрузки центр симметрии вала и независимость, согласно линейной теории, радиального перемещения и углового отклонения, определяемых датчиками 6 и 7, опоры поворачиваются с помощью приводов 9 относительно корпусов таким образом, чтобы ориентацией питателей по отношению к нагрузке демпфировать радиальные и угловые перемещения вала. С помощью регулятора 10 изменяется давление в зазорах, которое соответствует оптимальному режиму работы опор.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П.И. Основы конструирования. – М.: Машиностроение, 1988. – Кн. 2. – 544 с.
2. Легаев В.П., Гавшин В.В. Газовые опоры станков и приборов / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1996. – 224 с.

**Л.К. Генералов, Н.В. Жарков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Повышение качественных показателей деталей, изготавливаемых на металлорежущих станках идёт по нескольким направлениям: интенсификация рабочих процессов, совершенствование конструкции режущих инструментов, разработка схем высокоскоростной и комбинированной обработки.

Рассмотрим постановку задачи оптимального управления процессом резания материала на токарном станке с числовым программным управлением, имеющим возможность изменять режимы резания при обработке. Разработка математической модели должна содержать четыре составляющих: уравнения движения, краевые условия, класс функций управления и критерии качества процесса.

Технологический процесс характеризуется набором определяющих параметров  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ , например, размеры заготовок, материал, режимы резания, кинематические характеристики станка и т.д., что образует фазовое пространство. Вектор  $X$  назовём фазовым состоянием процесса, изменяющегося во времени.

Изменение во времени определяющих параметров описываем дифференциальными уравнениями движения, которые базируются на законах механики. Отличие заключается в том, что эти уравнения должны содержать некоторый набор функций времени  $U(t) = (U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t))$ , называемых управляющими воздействиями.

В процессе управления параметры технологического процесса могут изменяться от известных в начальный момент времени (начальных значений) до заданных в конечный момент времени (конечных значений). Это означает, что управляемые параметры переводятся из начального состояния в конечное и точки  $X_0$  и  $X_k$  – краевые точки процесса.

Функции управления при этом должны иметь множество допустимых значений управляемых воздействий, позволяющих моделировать непрерывные процессы или допускать разрывность. При изменении управля-

мых воздействий будут изменяться и решения. Меняя функции управления можно получить различные траектории движения, выделяя среди них такие, которые приводят к положительному результату и из которых можно выбирать оптимальное решение.

Применительно к обработке резанием такая постановка задачи означает поиск временных функций изменения режимов обеспечивающих получение деталей с заданными характеристиками.

**Б.Б. Гоголев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ЭФФЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСШЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Известно, что введение в кинематическую цепь проектируемой механической системы высшей кинематической пары дает возможность обеспечить свойства, не достижимые другими путями. Теория высшей кинематической пары характеризовалась специалистами в данной области как стройно сформированная наука. Вместе с тем, некоторые положения этой теории, а также методы решения прикладных задач, предлагаемые и развивающиеся в последнее время, нарушают эту стройность. Эффективность синтеза элементов высшей кинематической пары определяется представлением математической модели последней в виде, позволяющем анализировать ее свойства, и обеспечивающем возможность изготовления элементов с заданными свойствами.

Ф.Л. Литвин выделяет пять возможных способов получения сопряженных поверхностей с помощью исходных поверхностей и определяет их как позволяющие оценить степень соответствия получаемых передач требованиям оптимальности. Вместе с тем, в работах некоторых авторов, основанных на применении этих методов, игнорируется именно эта часть, поскольку получаемые результаты не представляются в общем виде. Последнее нередко отмечается как достоинство, что в связи с вышесказанным нельзя признать обоснованным. Такая ситуация является неизбежным следствием произвольного определения формы представления исходной поверхности. Так, при часто используемом втором способе Оливье последовательность определения сопряженных активных поверхностей может быть следующей: звено 1 – инструмент для его изготовления и звено 2 – инструмент для изготовления звена 2 и т.д., или: инструмент для изготовления звена 1 – звено 1 – звено 2 и т.д. Очевидно, что после реализации матричных переходов, получаемые зависимости приобретают несопоста-

вимый вид, что и служит поводом для получения только числовых решений. Но для таких решений могут быть применены изначально на них ориентированные методы, тогда как смешение аналитических и числовых методов представляется неоправданным. Выделенные Ф.Л. Литвиным способы ориентированы на получение аналитических решений, но требуют обоснованной формы представления математического описания поверхностей. Это, прежде всего, относится к поэтапному представлению исходных поверхностей.

Уравнения должны быть представлены таким образом, чтобы в них были отражены особенности, общие для определенной группы вводимых в рассмотрение поверхностей. Этим множество всех исходных поверхностей разделяется на подмножества. Дополнительным условием является минимизация числа таких подмножеств.

Для получения единообразных расчетных зависимостей удобно рассматривать поверхность как результат отображения в пространство замкнутой плоской фигуры. В качестве такой фигуры выбирается круг (круговое кольцо). Общий вид поверхности, параметризованной таким образом представляется так:

$$x = r \cos \vartheta, \quad y = r \sin \vartheta, \quad z = f_z.$$

Многообразие поверхностей, описываемых системой данных уравнений, зависит от многообразия последней функции; поэтому первоначально придаем ей вид функции максимальной структуры, под которой понимаем объединение в одной формуле всех элементов рассматриваемого множества:

$$f_z = f(r) + f(\vartheta) + z_c + u,$$

где  $z_c$  – постоянная,  $u$  – независимая переменная.

В таком виде, однако, она может не соответствовать ни одной существующей поверхности, а при включении ее в систему уравнений, описывающих исходную поверхность, может возникнуть необходимость разделения последней, что означает разделение множества поверхностей на подмножества. Дальнейший анализ выявил такую необходимость. Эта функция, представленная в виде

$$f_z = f(r) + f(\vartheta) + z_c$$

и введенная в систему уравнений поверхности, совместно с последней описывает один виток винтовой поверхности, поверхность вращения и плоскость. Для того чтобы такое отображение было инъективным, необходимо в качестве прообраза выбрать круг, в параметризации которого не делается различия между точками, определяемыми радиус-вектором, совершившим полный оборот вокруг его центра.

При придании функции максимальной структуры вида

$$f_z = u$$

обнаруживается, что при ее использовании прообразами являются не плоские фигуры, а линии: прямая или окружность. Поскольку в этом случае предполагается получение геометрических образов, отличных от получаемых в предыдущем случае, их нельзя совместить в общей зависимости.

Такое представление обуславливает получение удобных для анализа результатов.

**В.А. Горелов**

*Россия, г. Москва, ММПП «Салют»*

### **АНАЛИЗ МНОГОКООРДИНАТНОГО РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ (АЭ)**

В конструкциях современных газотурбинных двигателей (ГТД) имеется широкая номенклатура деталей типа колец, дисков, лопаток и корпусных деталей, обработка которых на универсальных металлорежущих станках практически не возможна. Для изготовления этих деталей широко применяются станки с ЧПУ, имеющие две и более управляемые координаты.

При многокоординатной обработке режущий инструмент совершает сложное движение одновременно по нескольким координатам, обеспечивая заданную точность, шероховатость и другие параметры качества обрабатываемых заготовок. В зависимости от числа управляемых координат и кривизны обрабатываемых поверхностей заготовок изменяются кинематические и динамические углы резания, режимы, условия контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью и др.

Переменные технологические условия, вызванные многокоординатным резанием, оказывают непосредственное влияние на качество изготовления деталей и производительность обработки. Учитывая высокие требования к этим показателям при обработке деталей ГТД на станках с ЧПУ, проблема выбора технологических условий многокоординатного резания является весьма актуальной.

Имеющиеся нормативы на режимы резания, технологические рекомендации и программы расчета не отвечают условиям многокоординатного резания. Эта нормативно-техническая документация содержит сведения на режимы однокоординатного резания, например, для продольного или торцевого точения. Поэтому выбор режимов резания и инструмента на многокоординатных станках производится на основании опыта технолога-программиста при изготовлении деталей в производственных условиях.

Создание нормативной базы для выбора условий многокоординатного резания путем традиционных стойкостных испытаний режущего инструмента потребует значительных трудовых и материальных затрат.

Для создания нормативной базы целесообразно использовать разработанные ранее экспресс-методы и критерии оптимизации на основе метода акустической эмиссии [1].

Установлена пропорциональная связь между диагностическими параметрами АЭ и интенсивностью износа и износом режущего инструмента. Получены зависимости между параметрами АЭ и режимом резания, геометрией инструмента, материалом режущего инструмента и упрочняющими покрытиями, твердостью обрабатываемой заготовки и другими условиями обработки резанием.

Полученные результаты позволяют построить обобщенную зависимость износа инструмента от переменных параметров резания при многокоординатной обработке с учетом их взаимодействия на износ инструмента. Тогда задачей технологической подготовки производства при выборе условий обработки деталей на многокоординатных станках будет являться минимизация износа инструмента и регулирование, связанных с ним показателей себестоимости и качества обработки деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М., Машиностроение, 1988.

**В.Г. Гусев, В.Н. Жарков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

#### ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДИСКРЕТНЫМИ ШЛИФОВАЛЬНЫМИ КРУГАМИ

Исследования проведены на плоскошлифовальной станке, работающей периферией круга. Обрабатывали плоскости пластин из стали 60С2. Измерение тангенциальной составляющей  $P_z$  силы резания проводили с помощью граненого с восьми сторон кольца, на которые наклеивали тензометрические датчики, соединенные в мостовую схему. Тарировали силовым статическим нагружением и разгрузкой. Для определения зависимости составляющей  $P_z$  от элементов режима шлифования проведены рандомизированные во времени полнофакторные эксперименты типа 24 с дополнительной точкой в центре для проверки гипотезы адекватности уравнения регрессии, представляемого в виде многочлена

$$\ln P_z = a_0 + a_1 \ln V + a_2 \ln t + a_3 \ln S + a_{123} \ln V t S, \quad (1)$$



где  $a_0, a_1, \dots, a_{123}$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $V, t, S$  – элементы режима шлифования; скорость стола с заготовкой в м/мин; глубина резания в мкм; поперечная подача стола с заготовкой в мм/2.х соответственно.

Перевод уравнения (1) к натуральным факторам, характеризующим режимы шлифования, позволила получить функциональную зависимость тангенциальной составляющей  $P_z$  силы резания от скорости  $V$ , глубины  $t$  и подачи  $S$  в виде

$$\ln P_z = -1,51 + 0,34 \ln V + 0,51 \ln t + 0,61 \ln S - 0,06 \ln V \ln S + 0,03 \ln t \ln S - 0,02 \ln V \ln S \ln t. \quad (2)$$

Уравнение регрессии (2) свидетельствует о том, что наибольшее влияние на  $P_z$  оказывают факторы  $V, S$  и  $t$ , а эффекты взаимодействия влияют на  $P_z$  в меньшей степени.

Зависимость (2) адекватно отражает экспериментальные данные при уровне значимости, равном 0,05 и значениях критерия Фишера  $F_{\text{табл}} = 1,95$ ;  $F_{\text{расч}} = 18,0$ .

Полученная математическая модель позволяет количественно оценить значение составляющей  $P_z$  в широком диапазоне варьирования элементов режимов шлифования дискретным кругом. Эти данные необходимы для оценки механической прочности инструмента и прогнозирования ожидаемой точности шлифованной поверхности.

**В.Г. Гусев, Н.В. Жаркова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ЭНЕРГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЖУЩЕГО СЕГМЕНТА ДИСКРЕТНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКОЙ**

Дискретное шлифование сборными абразивными кругами характеризуется более динамичной работой режущего инструмента, заготовки и других элементов технологической системы, значительно влияющей на процесс пространственного формирования обрабатываемых поверхностей. Для обеспечения геометрических характеристик шлифованной поверхности необходимо располагать достоверной информацией, связывающей энергию удара абразивного сегмента с обрабатываемым материалом заготовки. Рассмотрение данного вопроса усложняется быстротечностью контактного взаимодействия абразивного сегмента с заготовкой. Время единичного реза, осуществляемого отдельным абразивным сегментом, определяется величиной  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  с и описывается зависимостью

$$\tau = \left( \frac{\pi D - nb}{n} + L \right) / (V_K \pm V_D), \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр режущей поверхности сборного абразивного круга;  $b$  – протяженность воздушного промежутка между сегментами;  $n$  – число сегментов в инструменте;

$$L = L_H = \sqrt{\left[ \left( 1 \pm \frac{V_D}{60V_K} \right)^2 + \left( \frac{S}{60V_K} \right)^2 \right] \frac{Ddt}{D+d}},$$

$$L = L_{BH} = \sqrt{\left[ \left( 1 \pm \frac{V_D}{60V_K} \right)^2 + \left( \frac{S}{60V_K} \right)^2 \right] \frac{Ddt}{d-D}},$$

где  $L$  – длина дуги контакта абразивного сегмента с обрабатываемой заготовкой;  $V_K, V_D$  – линейная скорость абразивных зерен сегмента и круговая подача заготовки;  $S$  – минутная продольная подача заготовки;  $d$  – диаметр заготовки.

Время единичного реза необходимо знать для оценки энергии удара абразивного сегмента о поверхность обрабатываемой заготовки, используемой для прочностных расчетов дискретного шлифовального круга. Численные значения энергии удара целесообразно определять в широком диапазоне элементов режимов шлифования.

Априори постулируемая математическая модель зависимости энергии удара  $W$  от скорости резания  $V$ , глубины резания  $t$  и подачи  $S$  отыскивалась в виде многочлена

$$\ln W = b_0 + b_1 \ln V + b_2 \ln t + b_3 \ln S + b_1 b_3 \ln V \ln S + b_1 b_2 \ln V \ln t + b_2 b_3 \ln t \ln S + b_{123} \ln V \ln t \ln S, \quad (2)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты уравнения регрессии.

В уравнение (2) входят, кроме основных эффектов, также эффекты взаимодействия, что приводит к нелинейности поверхности отклика относительно основных эффектов и объясняется наличием корреляционной связи между планируемыми факторами.

Переход к натуральным переменным факторам приводит к следующей функциональной зависимости

$$\ln W = -5,69 + 0,79 \ln V + 0,37 \ln t + 1,67 \ln S - 0,28 \ln V \ln S + 0,02 \ln V \ln t + 0,04 \ln t \ln S - 0,02 \ln V \ln S \ln t. \quad (3)$$

Проверка уравнения регрессии на адекватность проводилась по критерию Фишера, при этом расчетное его значение равно  $F_p = 1,99$ ; табличное  $F_T = 2,2$ .

Из уравнения (3) следует, что наибольшее влияние на энергию удара  $W$  оказывают входные факторы процесса  $V, S$  и  $t$ , а эффекты взаимодейст-

вия влияют в меньшей степени, в особенности это относится к  $\ln V \ln t$ ,  $\ln S \ln t$  и  $\ln V \ln S \ln t$ .

При увеличении  $V$ ,  $S$ ,  $t$  энергия удара возрастает, что создает условия для самозатачивания режущей поверхности абразивных сегментов, возникновению так называемой «барьерной поверхности», на которой абразивные зерна, обнаженные в результате удара сегмента о заготовку, расположены на разных расстояниях от оси вращения инструмента. Вследствие возникновения «барьерной поверхности» объем снятого металла заготовки, приходящийся на одно зерно, уменьшается, в результате чего улучшаются условия резания и повышается стойкость сборного абразивного круга с дискретной режущей поверхностью.

Очередная правка дискретного круга не требуется в течение длительного времени шлифования (50 минут и более), поскольку «барьерная поверхность» смещается при обработке от передней поверхности сегмента к тыльной его поверхности с незначительной скоростью, сохраняя длительное время высокую режущую способность инструмента.

**А.Н. Давыдов, А.В. Крылов, В.Н. Филимонов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ МУФТ СВОБОДНОГО ХОДА**

Механизмы (или муфты) свободного хода (МСХ) относятся к узлам общемашиностроительного применения. Разнообразие назначений МСХ и общая тенденция повышения ресурса машин привели к созданию большого числа принципиальных схем и конструкций этих механизмов. Однако повышение их нагрузочной способности и надежности достигается, как правило, за счет усложнения конструкции и увеличения габаритов по сравнению с широко применяемыми отечественной промышленностью простейшими роликовыми и храповыми МСХ, которые по основным параметрам уже давно не удовлетворяют современному уровню развития техники.

В этой связи актуальной представляется разработка зубчатой МСХ на основе простейшей планетарной самотормозящейся передачи с большими углами наклона зубьев ( $75 \dots 85^\circ$ ). При зацеплении самотормозящихся сторон профилей колеса и сателлитов планетарная передача становится редуктором с передаточным числом равным единице. Все звенья механизма вращаются как единое целое, передавая вращающий момент от ведущей полумуфты к ведомой. В случае приложения к ведущей полумуфте вращающего момента противоположного направления взаимодействуют не тормозящиеся стороны профилей, допускающие относительное вращение

колес. Механизм совершает свободный ход, практически не передавая мощности, т.е. планетарная передача становится кинематической.

Технологичность зубчатой планетарной МСХ в основном обусловлена технологичностью ее основных звеньев – центрального колеса и сателлитов, которые по существу представляют собой многозаходные шевронные червяки с несимметричным профилем зубьев в осевом сечении. Форма профиля червяка в торцевом сечении мало влияет на работоспособность МСХ, так как все типы червяков (архимедов, эвольвентный, конволютный и др.) почти равноценны по своей нагрузочной способности. Поэтому решающими факторами при выборе профиля нарезки червяка является способ изготовления и технологическая оснащенность предприятия. В серийном и массовом производстве изготовление таких червяков не сопряжено с какими-либо принципиальными технологическими трудностями. Они нарезаются дисковыми фрезами на червячно-фрезерных станках с последующими термообработкой и шлифованием на специальных червячно-шлифовальных станках, если это необходимо по условиям эксплуатации. В единичном и мелкосерийном производстве червяки могут нарезаться на обычных токарно-винторезных станках. В этом случае выбор профиля нарезки червяка обусловлен технологичностью проектирования и изготовления резцов, условиями и производительностью резания, а также необходимостью шлифования.

Специфические режимы работы МСХ позволяют применять червяки с нешлифованными витками. Увеличение коэффициента трения в зацеплении способствует повышению запаса по самоторможению и, соответственно, нагрузочной способности механизма при рабочем ходе. Незначительные потери на трение при свободном ходе (в режиме кинематической передачи) уменьшаются по мере приработки активных поверхностей профилей.

При таких условиях наиболее технологичны конволютные червяки с прямолинейным профилем витка или впадины в соответствующем нормальном сечении. Последние, например, могут нарезаться двухсторонним профильным резцом с прямолинейными режущими кромками, лежащими в плоскости, проведенной через середину впадины под углом к оси нарезаемого червяка, равным углу подъема витка. При этом одновременно обрабатываются тормозящий и нетормозящий профили соседних витков. Нарезание резцами с прямоугольными режущими кромками архимедовых или эвольвентных червяков ограничено неблагоприятными условиями резания, возникающими даже при малых ( $2...3^0$ ) углах подъема витка. Проектирование и изготовление фасонных резцов с криволинейными режущими кромками для нарезания таких червяков существенно осложняются. Резец приходится затачивать по шаблону, спроектированному по расчетным

координатам. Кроме того, при переточках резца очень трудно сохранить неизменным профиль резца и точность расположения режущих кромок.

Нарезание на токарных станках цельных многозаходных шевронных червяков в технологическом отношении отличается большой сложностью. Так как нарезание резьбы с большим ходом витка происходит, соответственно, при большой скорости продольного перемещения суппортной группы станка, то между полушевронами необходимо предусмотреть достаточно широкую технологическую канавку для выхода резца, которая существенно увеличивает осевой размер червяка. Для обеспечения высокой точности совпадения начала витков на левом и правом полушевронах цельного червяка его необходимо нарезать за одну установку. Все это требует высокой квалификации токаря.

Между тем, конструкция и режимы работы МСХ позволяют изготавливать центральное колесо и сателлиты с насадными венцами. При сборке МСХ полушевроны центрального колеса жестко фиксируются на оси, а полушевроны сателлитов могут устанавливаться на осях по скользящей посадке так, чтобы в период рабочего хода механизма они под действием осевых составляющих нормальных реакций поджимались друг к другу. В этом случае технология изготовления червяков значительно упрощается. Благодаря подвижной посадке на осях полушевроны сателлитов имеют возможность самоустанавливаться, поэтому совпадение начала витков на левом и правом полушевронах становится необязательным. Отпадает необходимость и в технологической канавке между полушевронами. Венцы с правой и левой резьбой нарезаются отдельно друг от друга на заготовках необходимой длины, которые затем разрезаются на несколько полушевранов. Поворот заготовки на нужную часть оборота для нарезания многозаходной резьбы может быть произведен с помощью специального делительного устройства, которым снабжен станок, а при его отсутствии другими известными способами, например, переключением гайки ходового винта или смещением резца вдоль оси нарезаемого винта на величину осевого шага и др.

Для повышения надежности работы МСХ необходимо увеличивать угол тормозящего профиля и уменьшать угол нетормозящего профиля зуба. Это достигается модификацией профилей зубьев центрального колеса и сателлитов. Часть головки каждого зуба срезается с нетормозящей стороны по заданной кривой, при этом профили центрального колеса и сателлитов должны быть сопряженными. В противном случае либо произойдет заклинивание механизма при свободном ходе, либо в зацеплении возникнут зазоры и обусловленные ими удары. Заострение зуба позволяет расширить диапазон изменения углов наклона и профиля зубьев с нетормозящей стороны и, как следствие, со стороны тормозящей. Последнее, в свою очередь,

дает возможность выполнить угол профиля больше угла самоторможения, увеличить долю нормальных сил и, соответственно, уменьшить долю сил трения в передаче вращающего момента, что повышает контактную прочность зубьев и нагрузочную способность механизма. Одновременно снижаются требования к точности изготовления червяков с модифицированным профилем зубьев, так как при более широком допустимом диапазоне изменения параметров зубчатого зацепления сами параметры могут выбираться достаточно далеко от границ допустимого диапазона.

**В.И. Денисенко**

*Россия, г. Владимир, ВлГПУ*

**О.В. Светляков**

*Россия, г. Ковров, КГТА*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

Эффективность диагностики и оптимизации процесса резания целиком и полностью определяется информативностью используемых параметров [1]. Традиционное использование для этой цели изменения силы резания, температуры, крутящего момента на валу двигателя, тока двигателя, различные комбинации этих параметров в ряде случаев оказываются сложными в исполнении, неприемлемыми или недостаточно информативными и адекватными. Поэтому в последние годы большое внимание привлекает перспектива акустической диагностики процесса резания. Высокая помехозащищенность акустических сигналов из зоны резания в области частот, превышающих частоты от шумов работающих агрегатов станка, обеспечивают получение надежной информации о таких важнейших параметрах обработки, как износ инструмента, качество поверхностного слоя детали, оптимальность режима резания.

Акустический метод с применением для обработки сигнала вейвлет-анализа, в отличие от ранее используемых для этой цели методов [2], позволяет определять временные зависимости изменения параметров процесса резания; анализировать сигналы с произвольной постоянной составляющей; определять интервал действия сигнала по наибольшему значению интеграла (в данный момент времени; с необходимой точностью определять параметры исследуемого сигнала при широком диапазоне их изменения; обрабатывать сильно зашумленный сигнал и не требует предварительной обработки анализируемого сигнала в виде цифровой или аналоговой фильтрации.

Практическая реализация акустического метода на основе вейвлет-анализа состоит в следующем:

Акустический сигнал, генерируемый в зоне резания, фиксируется датчиком, расположенным как можно ближе к режущей части инструмента. Сигнал с датчика поступает в блок обработки, там усиливается, преобразовывается в цифровую форму и далее с помощью контроллера ввода-вывода вводится в компьютер, где с помощью программы происходит его дальнейшая обработка и анализ.

Анализ заключается в разложении исследуемого сигнала на некоторые базисные функции, изменяющиеся во времени. К таким базисным функциям предъявляются требования:

- конечная энергия, т.е.

$$\psi(x) = 0 \text{ при } x \rightarrow \infty; \quad (1)$$

- нулевое среднее значение, или

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) dx = 0. \quad (2)$$

Вейвлет-преобразование заключается в вычислении интеграла вида:

$$W_f(t, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi\left(\frac{x-t}{a}\right) \cdot f(x) dx, \quad (3)$$

где  $t$  – время;  $a$  – масштаб вейвлет-функции;  $\psi(x)$  – вейвлет-функция;  $f(x)$  – исследуемый сигнал.

Таким образом, применение вейвлет-преобразования к некоторому входному сигналу позволяет получить его представление в виде элементарной функции  $\psi(x)$ , спектральная плотность которой может изменяться во времени.

Для непрерывного вейвлет-анализа необходимо использование функции, сочетающей свойства синус-косинусного ряда Фурье и функции Гаусса. В теории вейвлет-анализа для этой цели предлагается использование вейвлет-функции Морле. Ее аналитическое выражение имеет вид:

$$\psi(x) = (\cos x + i \cdot \sin x) \cdot e^{-\frac{x^2}{50}}. \quad (4)$$

Использование вейвлет-функции Морле на практике вызывает относительную погрешность определения частоты синусоидального сигнала до 0,323%.

При исследовании параметров акустического сигнала необходимо:

1. Представить исследуемый сигнал в цифровой форме в виде последовательности цифровых отсчетов.

2. Для полученной цифровой последовательности выполнить вейвлет-преобразование с использованием вейвлет-функции для различных моментов времени  $t$ .

3. Для каждого момента времени  $t$  определить амплитуду сигнала, как наибольшую для данного значения времени величину интеграла (3), и частоту  $F$  по формуле:  $F = 1/a$ , где  $a$  – значение масштаба вейвлет-функции, при котором достигается наибольшее для данного значения времени значение интеграла (3).

Приведенные пункты (1–3) описывают способ автоматизированной обработки акустического сигнала, позволяющий автоматизировать получение зависимостей  $F(t)$  и  $A(t)$  основной гармонической составляющей исследуемого сигнала.

Разработанная программа изучения процесса резания имеет современный графический интерфейс и удобна в работе. Результаты вейвлет-анализа отображаются на экране в виде цветной картинке, на которой цвета означают интенсивность присутствия (амплитуду) той или иной частоты. Цвета картинке изменяются так же, как изменяется цвет металла при его нагреве, т.е. черный – min, белый – max. Анализируя процесс резания, можно программно задавать интересующий диапазон частот и отрезок времени. При этом наглядно видно изменение интенсивности (амплитуды) интересующей частоты от времени.

Испытания метода на станке показали его применимость не только для диагностики процесса резания, но и перспективу при создании адаптивных систем по автоматическому поиску оптимальных режимов в начальный момент обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. СССР № 1493387 / В.И. Денисенко. Способ определения оптимальных режимов резания.
2. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. – М.: Машиностроение, 1977.

**А.И. Елкин, Д.В. Данилов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Рассматривая качество режущего инструмента необходимо также оценить и прочностные характеристики его.

В настоящее время существуют несколько методик определения напряженно-деформированного состояния (НДС) сборного инструмента, которые основываются как на численных, так и на аналитических методах. Обе группы методов имеют и недостатки и преимущества. Преимущество



численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ), заключается в том, что они позволяют учесть все факторы, влияющие на НДС режущего инструмента, с необходимой точностью. Недостаток проявляется в том, что они не дают зависимостей, связывающих НДС режущего инструмента с его параметрами, которые можно было бы использовать для оптимизации инструмента на стадии проектирования.

Можно рассмотреть два подхода к решению поставленной задачи:

- построение уравнений регрессии, связывающих некоторые критерии НДС с параметрами модели. Это предполагает использовать МКЭ в качестве средства проведения численного эксперимента;
- построение математической модели НДС инструмента, которое заключается в получении аналитических зависимостей между компонентами НДС инструмента и параметрами модели, позволяющие их непосредственный анализ с целью оптимизации.

Для первого подхода, даже для упрощенной модели набирается много параметров, необходимых для ее полного описания, объем работы получается большим и при этом нет возможности уменьшить его за счет малозначимых параметров, т.к. сам подход не дает основания для такого разделения параметров. Поэтому, есть вероятность того, что, выполнив большую работу, получим зависимости, применимые только в жестких рамках упрощений и допущений, принятых при исходной схематизации объекта.

При втором подходе, можно отметить, что крайне мало вероятно построение такой математической модели, в которой в достаточной степени учитываются все параметры и дающей результаты приемлемой точности и в то же время поддающейся анализу на многофакторную оптимизацию.

Ни первый, ни второй подходы не решают проблему. Поэтому представляется использовать смешанный подход к решению задачи. Создать упрощенную математическую модель инструмента, которую можно проанализировать и выявить степень влияния параметров модели на НДС. Влияние параметров, которые либо не учитываются в математической модели, либо учитываются в недостаточной степени, следует оценивать расчетами по МКЭ.

**В.Н. Жарков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ШЛИФОВАНИЕМ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ КРУГОВ К РАБОТЕ**

Установка нового шлифовального круга на станок, особенно большого размера, начиная с 500×63×305 и заканчивая 1100×63×305, требует зна-

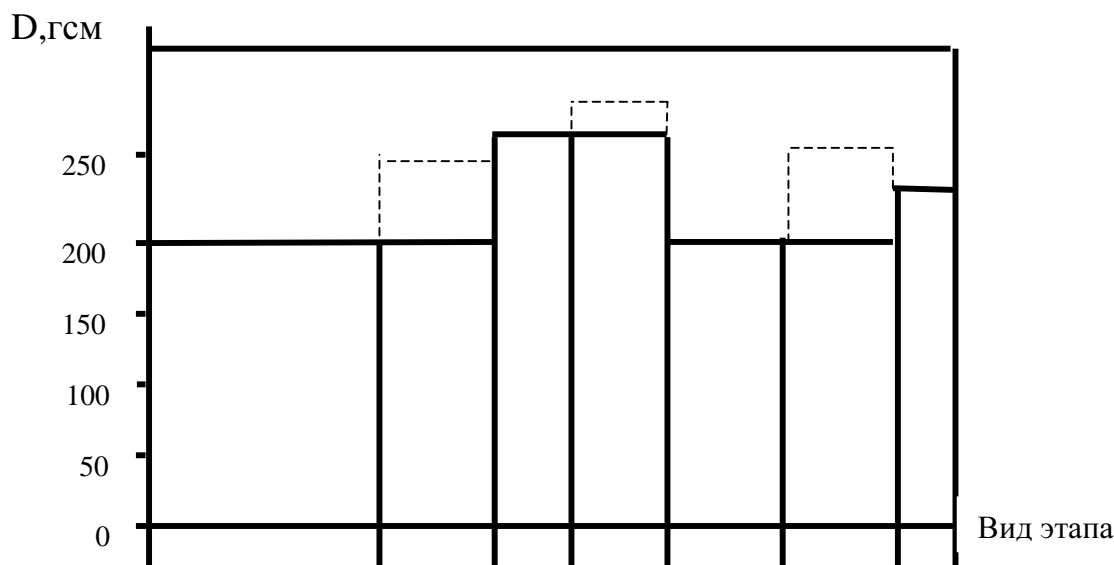
чительного времени. В этом случае норма времени на техническое и организационное обслуживание операции шлифования в формуле штучного времени возрастает значительно, сводя на нет возможности инструмента и станка из-за многократных балансировок и правок круга при обработке и на этапе подготовки круга к работе.

Данные опроса и хронометража работы операторов по подготовке кругов к работе на ОАО «Владимирский тракторный завод», АО ВЗПО «Техника» (г. Владимир) и ряда других предприятий показали, что время на подготовку кругов находится в пределах от 30...40 минут до 3...4 часов и в значительной степени зависит от их размеров.

Подготовка шлифовального круга включает в себя сборку круга с планшайбой, балансировку, транспортировку и правку, причем для операций чистового шлифования необходимо проводить повторную балансировку непосредственно на станке или круг возвращают на балансировочный стенд. При частой смене кругов в условиях массового и крупносерийного производства повторная балансировка представляется затруднительной, т.к. приводит к еще более значительным простоям оборудования и перерывам в технологическом процессе. Так, для шлифовальных кругов с размерами ПП 1100×43×305 при шлифовании шеек коленчатого вала двигателя трактора суммарная стойкость круга составляет 4...6 дней.

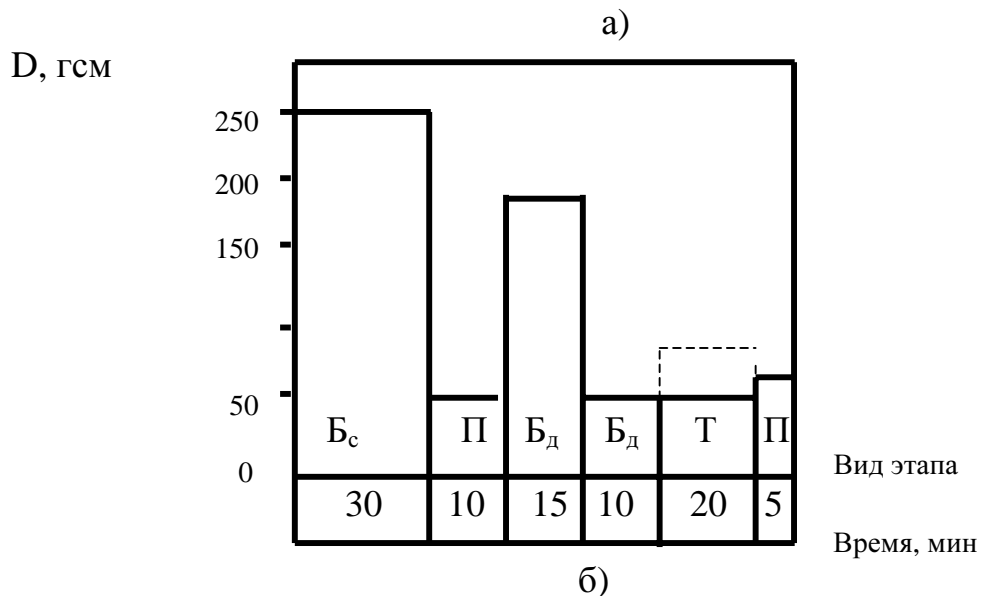
В условиях мелкосерийного и серийного производства проведение повторной балансировки более реально. Однако удаленность шлифовальных станков от мест подготовки кругов к работе, большая масса комплекта и физические возможности рабочего приводят к другим «приемам работы». Например, балансировка круга при работающем круглошлифовальном станке со снятыми ремнями привода шпинделя. Оператор связывал такой прием с сокращением времени подготовки круга к работе, и тогда все операции соединялись на одном станке-стенде. В другом случае на шлифовальный станок ставился новый круг и сначала правился, а затем снимался и балансировался. Подобные случаи лишней раз подтверждают необходимость обратить внимание на этот этап процесса шлифования.

Затраты времени на подготовку шлифовальных кругов по сложившейся на предприятиях технологии и в режиме «балансировки – правки» и величина среднего дисбаланса по этапам подготовки показаны на рисунке.



Б<sub>с</sub>                    Т    П    Т    Б<sub>с</sub>    Т    П

70                    20    15    20    30    20    5



*Затраты времени на подготовку шлифовальных кругов и величина дисбалансов:*  
*а – по существующей технологии; б – в режиме «балансировки – правки»;*  
*Б<sub>с</sub> – статическая балансировка на параллелях; Б<sub>д</sub> – балансировка в динамическом*  
*режиме на балансировочном станке; Т – транспортировка круга; П – правка круга*

Анализ существующей технологии подготовки кругов к работе подтвердил необходимость совмещения операций балансировки и правку, и подсказывает создание установок, совмещающих балансировку в динамическом режиме и правку круга.

Данная технология подготовки кругов к работе позволяет повысить производительность подготовки в 2 раза, сокращает время на транспортные операции в 3 раза, повышает качество подготовки и культуру производства, сохраняет точностную надежность шлифовальных станков. Результаты шлифования показали снижение в среднем в 1,4 раза некруглости, в 1,6 раза шероховатости поверхности.

**А.В. Жданов, И.В. Шинаков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для большинства технологических машин и механизмов характерны параметрические отказы, которые приводят к выходу характеристик оборудования (точности обработки, вибрации) за допустимые пределы. Машина становится неработоспособной с точки зрения требований, установленных техническими нормативами. Это относится к станкам, роботам, специальным приспособлениям и т.д. Выходные характеристики у большинства технологических машин определяются многими параметрами: жесткостью и точностью приводов, упругими и тепловыми деформациями и т.д. При анализе надежности необходимо учитывать взаимосвязи между наиболее значительными факторами с целью их упрощения, принимая во внимание их независимость, степень значимости, время действия и последствия отказа.

При анализе параметрической надежности резьбонарезного оборудования наибольшее внимание уделяется влиянию на заготовку колебаний сил резания, тепловых деформаций, износа направляющих и привода подач. Суммарная погрешность обработки зависит от геометрической суммы составляющих:

$$\Delta = f(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4),$$

$$\text{где } \Delta_1 = \frac{P + \Delta P}{j - \Delta j} - \frac{P - \Delta P}{j + \Delta j}, \Delta_2(t) = A \left( 1 - e^{\frac{-t}{T}} \right), \Delta_{3,4}(t) = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{L_{3,4}},$$

где  $\Delta_1$  - погрешность от деформации;  $\Delta_2$  - погрешность от тепловых деформаций;  $\Delta_3$  - погрешность от износа направляющих;  $\Delta_4$  - погрешность от износа исполнительного механизма привода подач,  $P$  - сила резания,  $\Delta P$  - колебание силы резания,  $j$  и  $\Delta j$  - жесткость и колебание жесткости суппорта и шпинделя;  $A$ ,  $T$  - постоянные процесса и времени,  $L_{3,4}$  - длина изношенной части направляющих и исполнительного механизма привода подачи;  $U_{\max(\min)}$  - предельные значения износа.

Изменение выходных параметров каждого фактора  $\Delta_i$  происходит в результате развития повреждений во времени и подчиняется различным законам. Для выявления взаимосвязей были построены расчетные схемы для деформационных процессов, возникающих в станке, тепловых деформаций во время обработки дисковым и профильным инструментом, а также схемы износа направляющих и исполнительных механизмов станка.

Для высокоточного резбонарезного оборудования основной характеристикой параметрической надежности можно считать запас надежности по каждому из выходных параметров. При этом ресурс станка определяется значением коэффициента запаса  $K_H \geq 1$ . Необходимо, чтобы коэффициент запаса не опускался ниже этого значения. Большое влияние оказывает скорость изменения коэффициента надежности. На рисунке представлен график изменения запаса надежности резбошлифовального станка.

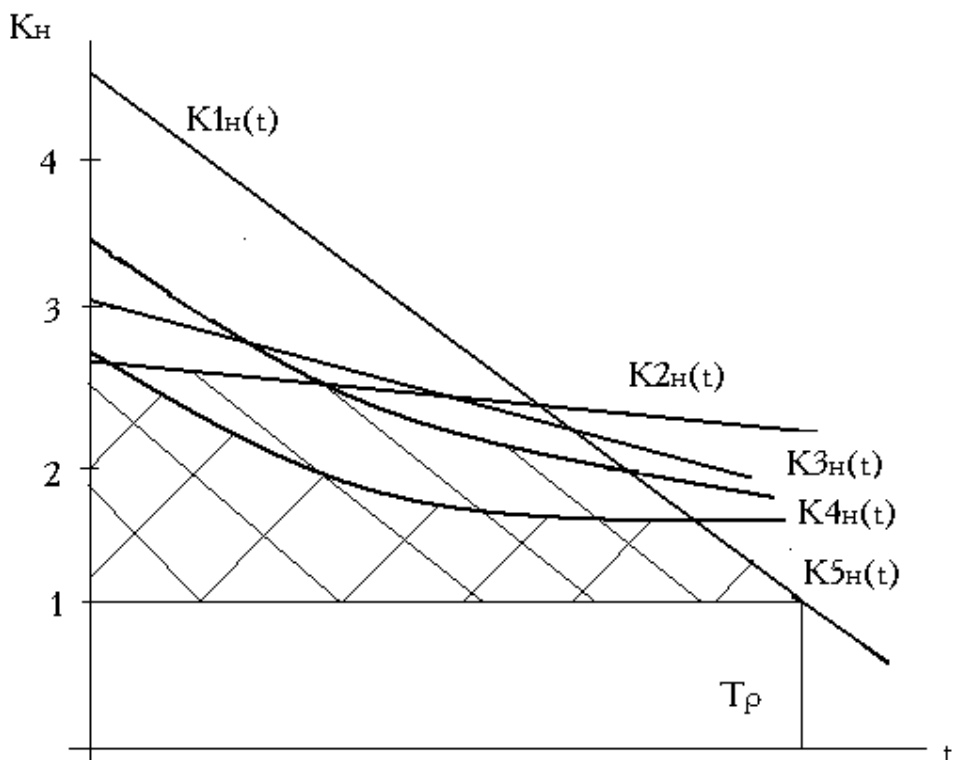


График изменения запаса надежности резбошлифовального станка

В том случае, если в приводе подач используется передача скольжения, параметрическая надежность станка определяется параметром коэффициентом запаса  $K5_H(t)$  до достижения полного ресурса системы  $T_p$ . При замене исполнительного механизма на передачу качения (шариковинтовую или роликовинтовую) надежность системы лимитируется различными параметрами в период эксплуатации: в начале надежность всей системы ограничивает параметр  $\Delta_3$ , затем  $\Delta_4$ , а на последнем этапе  $\Delta_1$ .

**Т.А. Желобова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

**А.А. Желобов**

*Россия, г. Владимир, ВПО «Точмаш»*

## ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРИЦИКЛОИДАЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При фрезеровании плоских поверхностей представляется перспективным использование перициклоидальных траекторий перемещения режущих ножей инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Такая схема фрезерования (рис. 1,а) требует вращения фрезы малого диаметра

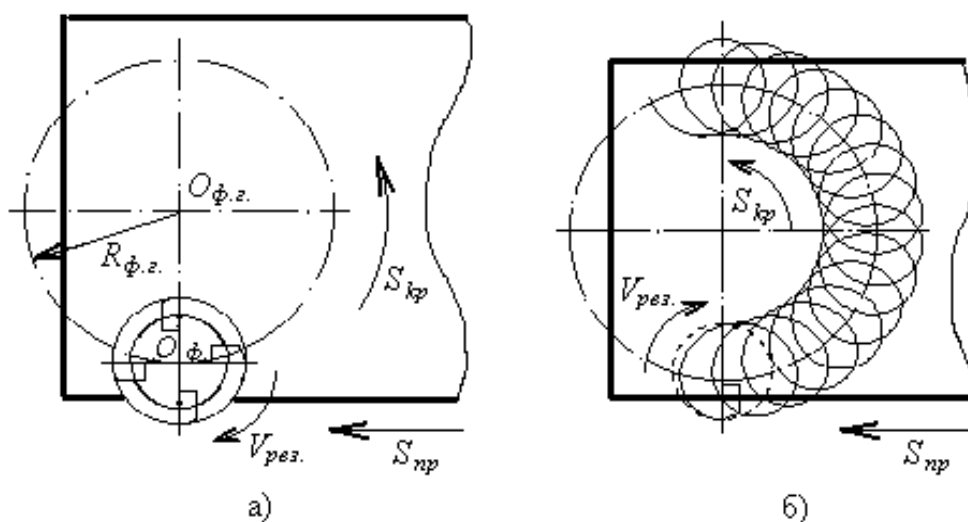


Рис. 1. Схема перициклоидального фрезерования:  
а – кинематика процесса; б – траектория режущего ножа инструмента перициклоида

вокруг своей оси с частотой  $n_{\phi}$ , обеспечивающей скорость резания  $v_{рез.}$ , перемещения её по круговой траектории с радиусом  $R_{\phi.з.}$  относительно обрабатываемой поверхности с частотой  $n_{\phi.з.}$ , обеспечивающей ей круговую подачу  $s_{кр}$  и продольную подачу заготовки  $s_{нр}$  относительно фрезы. При значительном (в десять и более раз) превышении  $n_{\phi}$  над  $n_{\phi.з.}$  режущий нож фрезы перемещается по перициклоидальной траектории (рис.,б). Процесс снятия припуска осуществляется в направлении круговой подачи фрезы полосой, ширина которой равна диаметру фрезы. Это определяет величину продольной подачи заготовки  $s_{нр}$ , которая за время одного цикла перемещения фрезы по круговой траектории с радиусом  $R_{\phi.з.}$  должна быть примерно равна (чуть меньше) диаметру фрезы.

Режущий инструмент в этом случае целесообразно выполнить в виде силовой фрезерной головки (СФГ) с  $n$  фрезами, в основу которой может быть положен дифференциальный преобразователь движения. Рабочие фрезы жёстко связываются с осями сателлитов и получают вращение с частотой  $n_{\phi}$ , обеспечивающей скорость резания. Круговую подачу фрезы  $s_{кр}$  получают за счёт вращения водила с частотой  $n_{\phi.2}$ . Использование СФГ позволяет значительно увеличить продольную подачу заготовки, которая в 5...10 раз будет больше, чем при традиционном фрезеровании. Это значительно повышает производительность обработки плоских поверхностей деталей. Кроме того, СФГ не требует введения в конструкцию станка дополнительных узлов, необходимых для реализации кинематической схемы резания с большим количеством рабочих движений.

Производительность фрезерования в значительной степени связана с динамическим характером этого процесса, с его неравномерностью, которая в значительной степени зависит от того, как сильно в процессе резания изменяется площадь среза, и характеризуется коэффициентом неравномерности  $\mu = f_{\max}/f_{\text{ср}}$ , где  $f_{\max}$  и  $f_{\text{ср}}$  – соответственно максимальная и средняя площади среза. Добиваясь уменьшения коэффициента неравномерности, создают условия для более спокойной работы станка и инструмента. При перициклоидальном фрезеровании сочетание круговой подачи режущего ножа в поперечном сечении обрабатываемой поверхности с её одновременным продольным перемещением (см. рис., а) позволяет кинематически выравнивать толщину среза в процессе резания и уменьшать  $\mu$ ; при этом в работе одновременно находится несколько фрез, что даёт возможность увеличить число активных режущих ножей. Это также позволяет уменьшить коэффициент неравномерности. В результате процесс снятия стружки при таком способе фрезерования должен проходить более спокойно, что даёт дополнительные возможности повысить его производительность и улучшить качество обработанной поверхности. Кроме того, кинематические особенности перициклоидального фрезерования обеспечивают получение на обработанной поверхности мелкосетчатой и более однородной структуры следов (рисок при обработке) по сравнению с традиционным торцовым фрезерованием, что также повышает качество обработанной поверхности и, как следствие, её эксплуатационные свойства.

Таким образом, рассмотрение особенностей осуществления перициклоидального фрезерования по сравнению его с традиционным торцовым фрезерованием показывает, что оно содержит в себе кинематические возможности повысить как производительность, так и качество обработки плоских поверхностей, и является перспективным способом фрезерования.

**В.Г. Кузеванов, Г.А. Комлев, С.М. Паринов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

**А.В. Бондаренко**

*Россия, г. Москва, МИИЖТ*

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБТОЧКЕ КОЛЕСНЫХ ПАР ВАГОНОВ**

Измерительный инструмент, используемый при ремонте подвижного состава, подвергается интенсивному износу. Одним из способов повышения износостойкости такого инструмента может быть его термообработка с последующим нанесением покрытия, обладающего еще более высокой твердостью, малым коэффициентом трения по стали или чугуну и высокой износостойкостью.

Покрытие никель-фосфор было разработано как альтернатива хромо-вому покрытию для средне- и высоконагруженных узлов трения.

Химический способ не требует сложного аппаратурного оформления, обеспечивает высокую равномерность покрытия, но дает меньшее содержание фосфора в покрытии и скорость осаждения.

Поскольку целью настоящей работы являлось получение износостойкого инструмента, мы отдали предпочтение химическому способу осаждения покрытия.

Химическое осаждение состоит в восстановлении никеля гипофосфитом натрия, и реакция идет лишь на поверхностях, обладающих каталитическим влиянием на нее (это Ni, Fe, Co, Al).

В процессе осаждения в растворе непрерывно нарастает содержание фосфит-иона  $\text{PO}_3^{3-}$ , который с никелем дает малорастворимое соединение и портит поверхность получающегося покрытия.

Для предотвращения этого явления в растворы обычно вводят комплексообразователи, которые уменьшают концентрацию свободных  $\text{Ni}^{2+}$  ионов и снижают скорость образования фосфитов. В щелочных растворах комплексообразователями являются лимоннокислый аммоний и аммиак. В этом случае оптимальный водородный показатель легко контролируется по цвету раствора (он должен быть синим, а при снижении pH ниже оптимума появляется зеленоватый оттенок).

В 1999–2000 гг. в условиях Владимирского вагонного депо были проведены исследования по отработке оптимальных параметров нанесения покрытия никель-фосфор на шаблоны для проверки профиля поверхности катания обода колеса. В марте 2000 г. в эксплуатацию (в колесный цех) было передано 4 шаблона с никель-фосфорным покрытием.

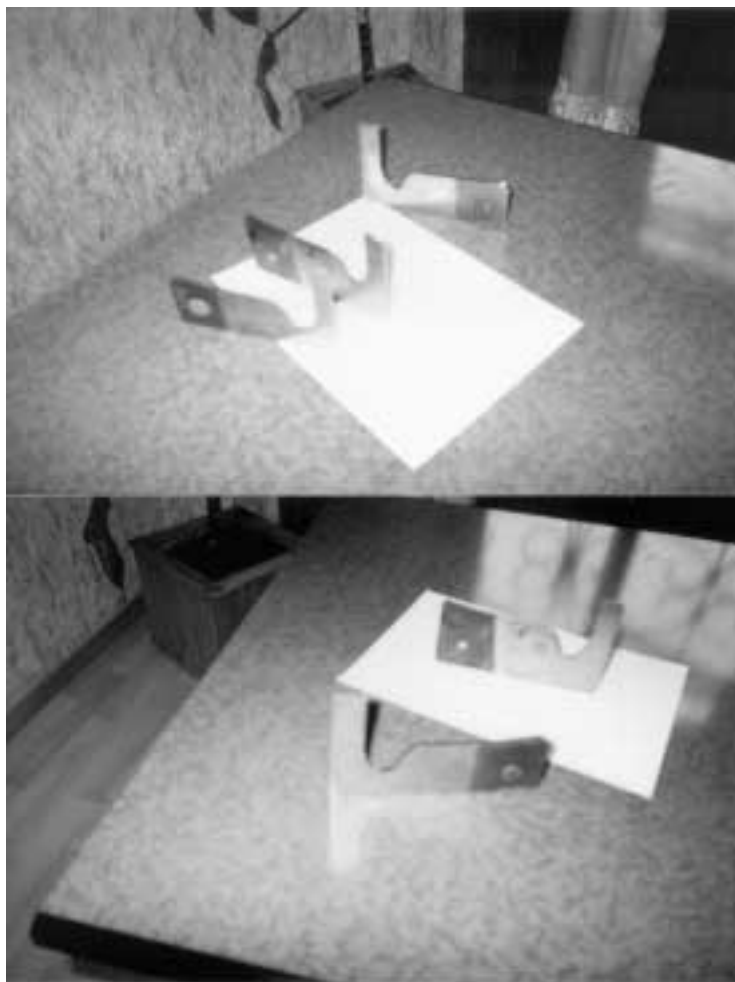


Осаждение покрытия вели из раствора:  $\text{NiCl}_2 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 45 г/л; гипофосфит натрия – 15 г/л; натрий лимоннокислый – 45 г/л; аммоний хлористый – 50 г/л; аммиак водный – до синего окрашивания (время осаждения – 3 часа, добавление аммиака – после 1-го и 2-го часа); добавление гипофосфита (после 1-го и 2-го часа по 5 мл раствора) – 100 г/л. Промывка – вода проточная водопроводная. Сушка – шкаф сушильный, 100 °С. Термообработка – 350 °С, 1 час, охлаждение на воздухе.

После термообработки никель-фосфорное покрытие имеет цвет побежалости. Микротвердость, определенная на приборе ПМТ-3 – 550...600 кг/мм<sup>2</sup>.

Эксплуатация шаблонов для проверки профиля поверхности катания обода колеса при точении на станках УББ 112 продолжается по настоящее время. Срок службы шаблонов с таким покрытием толщиной 30 мкм повысился от 6 до 10 раз по сравнению с шаблонами без покрытия. При достижении предельного износа у шаблона восстанавливают профиль по контршаблону и вновь наносят покрытие. Таким образом, шаблон может «прожить и две, и три жизни!»

На фотографиях представлены образцы упрочненных шаблонов.



*Образцы упрочненных шаблонов*

**М.Ш. Мигранов, В.В. Постнов**

*Россия, г. Уфа, УГАТУ*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗНАШИВАНИЯ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЖАРО- И ОСОБОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Решение проблемы оптимизации процесса лезвийной обработки для управляемых станочных систем требует разработки математического описания (идентификации) контактных процессов в зоне резания, рассматриваемой как объект управления. Прежде всего это касается процессов изнашивания режущего инструмента, лимитирующих производительность и качество обработки современных жаро- и особопрочных материалов.

В управляемых станочных системах обработка практически всегда ведется в нестационарных условиях, что затрудняет получение и использование математического описания процесса резания, как объекта управления. В данной работе для решения проблемы идентификации использован аппарат термодинамики неравновесных процессов, в рамках которой процессы контактного взаимодействия и изнашивания инструмента описаны системой дифференциальных уравнений, учитывающих скорость изменения затрат энергии на пластическую деформацию обрабатываемого материала в зоне стружкообразования, на передней и задней поверхностях инструмента, а также на формоизменение режущих кромок инструмента в результате его износа. Это позволило учесть влияние  $(v, s, t)$  и скорости их изменения на основные выходные параметры процесса резания. Из баланса  $(dv/dt; ds/dt; dt/dt)$  механической и тепловой энергии в зоне резания получено уравнение для расчета приращения износа  $\Delta h_3$  инструмента, представляющее собой двухпараметрическую зависимость вида

$$\Delta h_3 = F_q \Delta l + F_\Theta \Delta \tau, \quad (1)$$

в которой учет затрат механической энергии, приходящейся на единицу энергии формоизменения поверхностного слоя инструмента, производится в виде функционала  $F_q$ , а выделяющаяся при этом тепловая энергия, также отнесенная к единице энергии формоизменения инструмента, учитывается функционалом  $F_\Theta$ . Полученное уравнение определяет принципиальную возможность управления износом инструмента и производительностью обработки за счет регулирования вклада силового  $F_q$  или температурного  $F_\Theta$  факторов изменением соотношения между приращением пути резания  $\Delta l$  и временем работы инструмента  $\Delta \tau$  при изменении скорости резания  $dv/dt$  в процессе обработки.

Впервые разработаны вопросы механики непрерывного нестационарного резания и получены математические зависимости для расчета сил и температуры резания, учитывающие не только текущее значение элементов режима резания, но и скорость, и направление их изменения во время обработки. Проведен анализ динамики изменения составляющих энергетического баланса при управляемом нестационарном резании, показавший существование оптимальных температурно-ресурсных зон эксплуатации режущего инструмента при определенных значениях скоростей изменения элементов режима резания ( $dv/d\tau$ ;  $ds/d\tau$ ;  $dt/d\tau$ ).

Экономические расчеты, а также результаты лабораторных и производственных испытаний показали, что нестационарное точение с поддержанием оптимальной температурно-силовой динамики нагружения режущего инструмента в процессе его износа обеспечивает повышение производительности обработки жаро- и особопрочных материалов на 20...50% или повышение размерной стойкости инструмента в 1,5...2 раза по сравнению со стационарными режимами резания.

**А.Н. Рыкунов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МИКРОРЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ**

На основе анализа стационарных (переходные процессы стружкообразования пренебрежимо малы), квазистационарных (шлифование) и нестационарных (обработка свободным абразивом) процессов микрорезания выявлена присущая им общность физических явлений, характеризуемая:

- единым подходом к разработке модели баланса термомеханических явлений, в рамках которой тепловые источники перемещаются по контактными поверхностям с произвольной скоростью;
- нерациональной геометрией режущего клина и преобладающим влиянием режимных факторов на фактические параметры: так, уменьшение толщины реза до долей радиуса округления режущей кромки обуславливает среднеинтегральную величину переднего угла  $-30\dots-60^\circ$ ;
- необходимостью учёта застойных явлений;
- едиными физическими границами процессов: работа с толщинами среза, обеспечивающими устойчивое стружкообразование, но не превышающими трёх радиусов округления режущей кромки.

Общность закономерностей позволяет установить рациональные области применения и оптимальные условия осуществления процессов мик-

порезания при различных видах обработки: протягивание, развёртывание и др.

В данной работе изучение закономерностей микрорезания производилось в наиболее стационарных условиях его осуществления, присущих процессам тонкого точения (ТТ). Разработанная с учётом аналитического описания застойных явлений модель стружкообразования определяет их физические границы и основные особенности.

1. При толщинах среза  $a_1$  менее трёх радиусов округления режущей кромки инструмента  $\rho_1$  фактическая геометрия режущего клина определяется, в основном, не параметрами заточки, а режимными факторами: передний угол и радиус округления режущего клина в наибольшей степени зависят от величины подачи и скорости резания, глубина резания определяет фактический угол в плане и т.д. Это обуславливает большинство существенных особенностей протекания процесса, например, искажается линейный закон влияния толщины среза на удельную силу резания.

2. Установлена теоретически и экспериментально подтверждена зависимость для определения минимальной толщины среза, обеспечивающей устойчивое отделение элементов стружки. Выявленное влияние на неё фактического радиуса округления  $\rho_1^\phi$  режущего клина (застойной зоны или нароста) и угла наклона условной плоскости сдвига  $\beta_1$  объясняет противоречивость различных данных о её величине.

3. В установленных границах ( $3\rho_1^\phi \sin^2\beta_1 \leq a_1 \leq 3\rho_1$ ) радиальная составляющая силы резания может превышать тангенциальную до 3...7 раз, причём в этом случае на результирующую силу в большей степени оказывает влияние не глубина резания, а подача.

4. Наблюдается немонотонный, а зачастую – экстремальный характер изменения термомеханических явлений, что обуславливает сложную функциональную степень влияния режимных факторов на ряд выходных параметров процесса. Так, в отличие от обычного точения, подача влияет на рост температуры в меньшей степени, чем глубина резания, что объясняется наличием оптимального значения толщины среза.

5. Выявлено необычное соотношение составляющих баланса энергий: вблизи нижней границы процесса в резец и заготовку переходит по 30...45% от общего количества выделившейся теплоты. Однако в условиях минимальных толщин стружки до четверти выделившейся теплоты может поглощать окружающая среда, что смягчает негативное воздействие нерациональной геометрии режущего клина.

6. Установлено, что в условиях ТТ пластичных металлов минимальная толщина среза является основным параметром, определяющим достижимую величину шероховатости обработанной поверхности, что даёт воз-

возможность минимизировать её значение в пределе – до величины микродефектов режущего лезвия.

Отмеченные и ряд других особенностей ТТ, а также установленные физические границы определяют оригинальную модель процесса. Кроме того, при разработке соответствующего математического аппарата:

- установлено, что степень взаимовлияния энергетического критерия, отражающего затраты механической энергии, и интенсивности изнашивания резца определяется величиной угла наклона условной плоскости сдвига – показателем эффективности расходования энергии;
- обоснован экстремальный характер влияния глубины резания на наибольшую при тонком точении радиальную составляющую силы;
- аналитически рассмотрено движение плоского источника тепла по винтовой траектории с любой произвольной скоростью, что существенно уточняет расчёты температурных деформаций заготовок, определяет наиболее эффективные пути их снижения.

Математическая модель ТТ позволила разработать элементы управления процессом на базе автоматизированной расчетной системы оптимизационного нормирования операций. Её практическое использование обеспечивает показатели точности обработки и шероховатости поверхности, оцениваемые долями микрометра, что позволяет отказаться от шлифования, хонингования и других традиционных финишных методов обработки.

**Ю.С. Степанов, М.Г. Подзолков**

*Россия, г. Орел, ОрелГТУ*

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ КРУГАМИ С ПРОДОЛЬНО ПРЕРЫВИСТЫМ АКСИАЛЬНО-СМЕЩЕННЫМ РЕЖУЩИМ СЛОЕМ**

Снижение интенсивности теплового поля в зоне резания можно осуществлять разрывом дуги контакта шлифовального круга с заготовкой за счет прерывистости рабочей поверхности. Прерывистые АК, благодаря наличию впадин на рабочей поверхности, позволяют прерывать процесс резания, что дает возможность обрабатываемой заготовке остывать в промежутках между соседними резами. Изменением размеров выступов и впадин можно регулировать температуру в зоне шлифования. Радиальные впадины, направление которых выполняют вдоль оси вращения или наклонно к оси, можно получить различными способами.

Продольные впадины и выступы прерывистых АК, наряду с уменьшением температуры в зоне резания вызывают дополнительные погрешности

обработки в виде увеличения волнистости обрабатываемой поверхности и снижения виброустойчивости процесса шлифования. Прерывистые АК имеют уменьшенное количество зерен, одновременно участвующих в обработке резанием, в результате чего, уменьшаются мощность и энергия требуемые для шлифования.

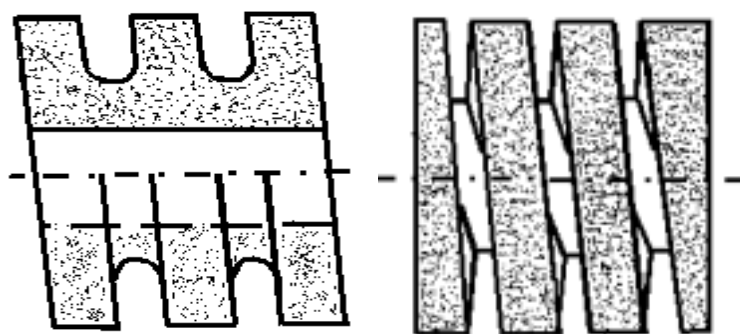
Подобные результаты, по прерыванию зоны резания и снижению теплового поля обрабатываемой поверхности, могут быть получены за счет дополнительного синусоидального перемещения зоны контакта заготовки и инструмента сканирующего обрабатываемую поверхность в направлении, например, перпендикулярном вектору скорости подачи, с частотой равной или кратной частоте вращения АК.

Одним из перспективных направлений, получения осциллирующего движения зоны контакта круга с заготовкой, является применение принципа «бегущего контакта» (БК). Последний обеспечивается установкой инструмента под углом к оси его вращения, специальной геометрией рабочей поверхности абразивного инструмента, движением обката и др.

При работе этого круга зона резания осциллирует в продольном направлении, прерывая тепловое насыщение для некоторых поперечных сечений обрабатываемой заготовки. Попеременно в продольном направлении части обрабатываемой поверхности охлаждаются при непрерывном процессе резания. Это повышает геометрическую точность и ликвидирует вибрации, свойственные прерывистому шлифованию и снижает тепловую напряженность процесса.

Проводимые в ОрелГТУ на кафедре ТМСИ исследования в области высокоэффективных технологий и технического оснащения отделочной абразивно-алмазной бесприжоговой обработки позволили разработать ряд конструкций абразивного инструмента с продольно-прерывистым ак-

сиально-смещенным режущим слоем (ПП АРС) работающих по принципу БК (рис. 1). Эти круги в отличие от традиционных прерывистых кругов позволяют вести обработку с большей точностью и лучшей шероховатостью обрабатываемой поверхности. Они генерируют значительно большие воздушные потоки, которые способствуют эффективному охлаждению заготовки, отличаются лучшим самозатачиванием и отводом стружки при не-



а)

б)

Рис. 1. Абразивные круги с ПП АРС:  
а – цельнопрессованный; б – цельнопрессованный  
с винтовым пазом

котором увеличении износа и позволяют уменьшить составляющие силы резания на 20...30%, температуру обрабатываемой поверхности заготовки до 30...40%, что способствует уменьшению остаточных напряжений и улучшению других показателей качества поверхностного слоя.

Цельнопрессованные круги с ПП АРС (рис. 1), позволяют осуществлять режим квазидискретного шлифования с уменьшением теплонапряженности процесса, но без характерных для обработки кругами с прерывистой поверхностью вибраций; изменяется схема съема припуска: абразивные зерна, расположенные на торцовых поверхностях винтового шнека, снимают припуск по генераторной схеме, а в центральной части винтовой режущей поверхности – по профильной. Кроме того, абразивные зерна, каждого последующего сечения активного профиля инструмента смещены в пространстве относительно предшествующего, т. е. обработка ведется не по следу, что увеличивает количество активно режущих зерен, снижает радиальную составляющую силы резания, повышает коэффициент абразивного резания, стойкость инструмента и улучшает качество поверхностного слоя обработанных деталей.

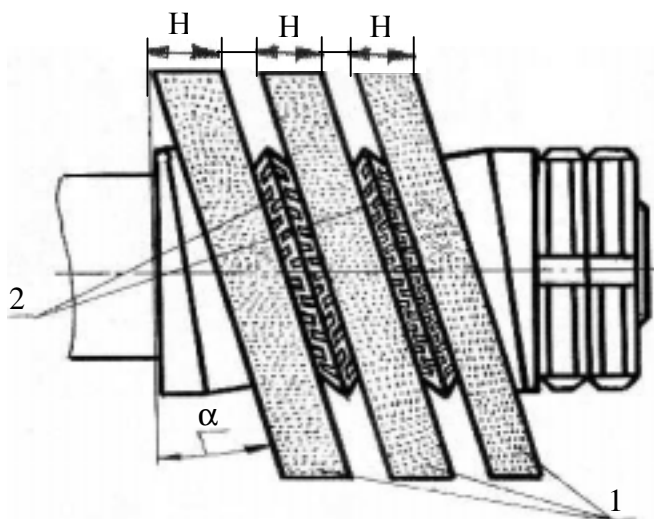


Рис. 2. Сборный абразивный круг с ПП АРС

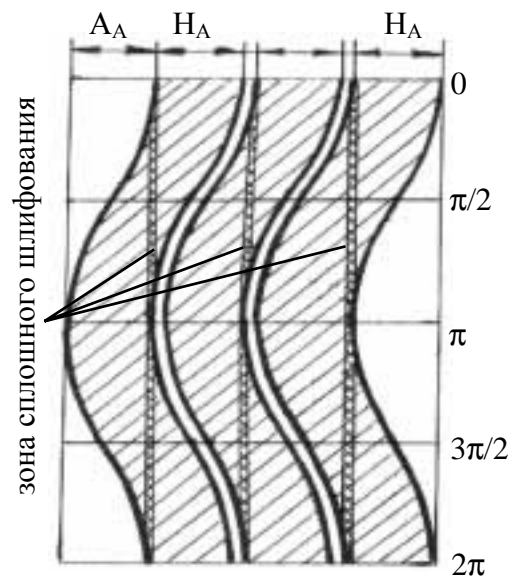


Рис. 3. Развертка следа сборного абразивного круга

Наряду с положительными сторонами цельным АК с ПП АРС (см. рис. 1) свойственны некоторые недостатки: сравнительно низкая механическая прочность инструмента, не позволяющая интенсифицировать шлифовальные операции из-за опасности разрушения инструмента под действием значительных сил в момент резания; нерациональное использование абразивного материала (полезно используется лишь абразив режущих выступов, при этом остающееся кольцо не используется); более сложная тех-

нология изготовления по сравнению с изготовлением обычных кругов, что увеличивает стоимость цельных кругов с ПП АРС.

Отмеченные недостатки можно частично устранить за счет использования конструкции сборных АК с ПП АРС состоящего из нескольких узких абразивных дисков 1 (рис. 2), наклонных к оси вращения под углом  $\alpha$ . Изучение физико-механического состояния поверхностного слоя после шлифования сборными кругами с ПП АРС показало, что толщина упроченного слоя возрастает в среднем на 20%, а мощность, отнесенная к единице ширины обрабатываемой заготовки, меньше в 1,3 раза.

Таким образом, применение АК с ПП АРС позволяет вести обработку с осцилляцией зоны шлифования (рис. 3), повысить производительность обработки, снизить шероховатости поверхности, энергозатраты на единицу объема снимаемого металла, а также снизить вероятность появления прижогов и интенсифицировать процесс шлифования.

**Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, Е.А. Белкин**

*Россия, г. Орел, ОрелГТУ*

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Одной из основных проблем машиностроения является обеспечение наряду с заданной точностью обработки комплекс параметров, характеризующих поверхностный слой. Так как целый ряд характеристик геометрического состояния поверхности деталей машин во многом определяют их эксплуатационные свойства.

Традиционный подход к оценке геометрических параметров поверхности снятый в определенном направлении различными методами (световое сечение, интерференционный, щуповой, бесконтактный, цифровой и др.) дает весьма далекую картину от действительности.

Самым современным, дающим дополнительную информацию о состоянии деталей машин, является анализ трехмерной модели поверхностных слоев. Система характеристик трехмерного изображения поверхности должна опираться на соответствующий математический аппарат. Математическая модель поверхности детали позволяет в достаточно простой форме дать описание рельефа, точнее оценить наиболее существенные свойства этого рельефа, влияющие на эксплуатационные свойства.

Анализ бурно развивающихся в последние годы методов математического моделирования поверхности при обработке металлов лезвийным и абразивным инструментом позволяет сделать следующие обобщения: ма-



тематические модели аппроксимации поверхности сложной формы, как правило, строятся на основе каркаса-совокупности координатных линий на поверхности, прообразы которых – линии прямоугольной сетки из прямоугольника, лежащего в плоскости вещественных переменных.

В различных видах аппроксимации поверхности: полиномиальными  $W$ -сплайнами; в каркасной аппроксимации, в основе которой лежит окружностная интерполяция пространственных кривых, и в типах, основанных на перемещении линий или поверхности и изменении в этом процессе, координатные линии описываются в дискретно-точечной форме. В такой трактовке приближенного описания поверхности ее кривизна, в общем случае, оценивается в выбранном направлении: в секущей плоскости, которая наклонена к нормали поверхности в данной точке под углом, или по индикатрисе Дюпена, и служит для оценки точности приближения пространственных кривых каркаса поверхности.

При загущении каркаса узлами ячеек точность представления поверхности для решения известных задач моделирования трехмерного изображения поверхностного слоя деталей машин возрастает, но увеличивается трудоемкость и объем вычислений.

Для решения теоретико-технических задач: аналитического описания зоны контакта, определения технологической поверхности детали по заданной поверхности сложной формы на основе локальной аппроксимации с учетом технологии ее изготовления и с более высокой степенью точности, чем это возможно в рамках существующих моделей, а также моделирование микрогеометрии поверхности детали, необходимо знать кривизну в окрестности фиксированной точки.

Ни одна из существующих на сегодняшний день математических моделей поверхности не дает представления об этой интегральной величине.

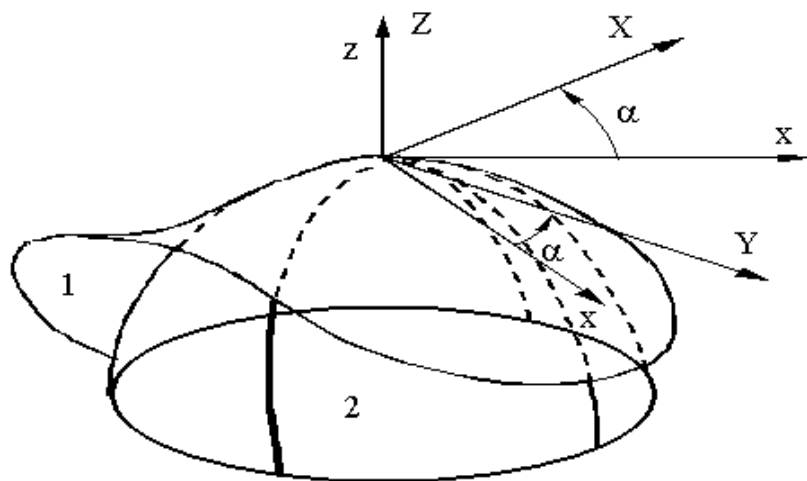
На сегодняшний день наиболее совершенным развитием дифференциально-геометрических подходов для описания пространств с кривизной является тензорный анализ, методы которого позволяют проследить на относительно простой математической модели изменение сложных количественных характеристик при переходе от одной системы координат к другой. Объект, который не изменяется относительно преобразований пространства, систем координат в нем, является инвариантом. Зная проекции, можно отвлечься от самого объекта и наблюдать его изменение или движение только по изменениям проекций, что обеспечивает большую степень формализации и обобщения.

Математическое моделирование геометрических параметров поверхностного слоя деталей машин с применением методов тензорного анализа позволяет не только расширить класс аналитически представимых поверхностей, но и производить расчеты с более высокой степенью точности.

Дальнейшим направлением развития методов моделирования поверхности детали в трехмерном пространстве, реализующих тензорный анализ, является проведение работ по получению обобщенной модели поверхности, развивающей модульный принцип конструирования. Для упрощения и ускорения расчетов необходимо разработать теоретические основы вычисления матрицы перехода тензора кривизны в локальной системе координат. К наименее исследованным относятся вопросы, связанные с исследованием алгебраических кривых и поверхностей третьего порядка методами теории инвариантов.

Авторами существующие затруднения при математическом моделировании трехмерного изображения геометрических параметров поверхностного слоя деталей машин решены на основе разработанной модульной геометрической модели (МГМ) поверхности, конструируемой на базе каркаса–полугеодезической координатной сетки. Существенным дополнением в ней является определение кривизны поверхности в окрестности фиксированной точки по величине тензора Римана-Кристоффеля. Зная кривизну поверхности в точке, нетрудно аналитически рассчитать параметры соприкасающегося параболоида и аппроксимировать им локальный участок поверхности.

Таким образом, соприкасающийся параболоид локально аппроксимирует поверхность сложной формы по точности на порядок выше, чем все существующие модели. Соприкасающийся параболоид в точке соприкосновения с поверхностью воспроизводит ее форму во втором приближении (см. рис.).



*Воспроизведение формы поверхности во втором приближении:  
1 – поверхность; 2 – соприкасающийся параболоид;  $\alpha$  - угол поворота*

Модульная геометрическая модель микрорельефа представляет собой совокупность модулей – соприкасающихся параболоидов. Каждый из со-

прикасающихся параболоидов может быть одним из четырех типов: эллиптический, параболический, гиперболический и плоскость.

Система геометрических характеристик поверхности деталей машин, полученная на основе модели, позволяет, в частности, провести анализ режущей способности абразивного инструмента и оценить характер взаимодействия режущей поверхности абразивного инструмента с обрабатываемым материалом, и судить о качестве поверхности после шлифования и гидроабразивной обработки сверхзвуковой струей жидкости.

**В.В. Трусов, В.А. Козлов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

### **КОНСТРУКЦИОННОЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ**

Как известно, повышение теплопроводности режущих инструментов различными методами (*внутреннее охлаждение, гальваническое покрытие тонким слоем меди и т.п.*) позволяет существенно повысить производительность процесса обработки, а также стоимость и долговечность этих инструментов, снизить затраты на их эксплуатацию и, соответственно, повысить рентабельность производства, снизить себестоимость изготавливаемой продукции.

На основе анализа физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процессы лезвийной обработки материалов, а также используя основные положения теории теплопроводности твердого тела, авторами разработана научно обоснованная методика расчетного определения параметров объемной геометрии режущих инструментов (*в том числе линейных и угловых размеров режущих пластинок*), обеспечивающих максимальный теплоотвод из зоны резания и, как следствие этого, наибольшую размерную стойкость используемых инструментов.

Опираясь на данную методику и анализ проведенных теоретико-экспериментальных исследований, разработаны новые конструкции режущих инструментов с повышенной теплопроводностью и работоспособностью, в частности:

- с использованием режущих твердосплавных пластинок стандартных форм и размеров, в которых  $3/4$  их прежнего объема занимает высокотеплопроводная латунь (см. рис. 1);
- с утоплением режущего твердосплавного материала непосредственно в более теплопроводную державку инструмента с его последующим вы-

движением из гнезда державки (при достижении предельно допустимого износа) и экономичной заточкой (см. рис. 2).

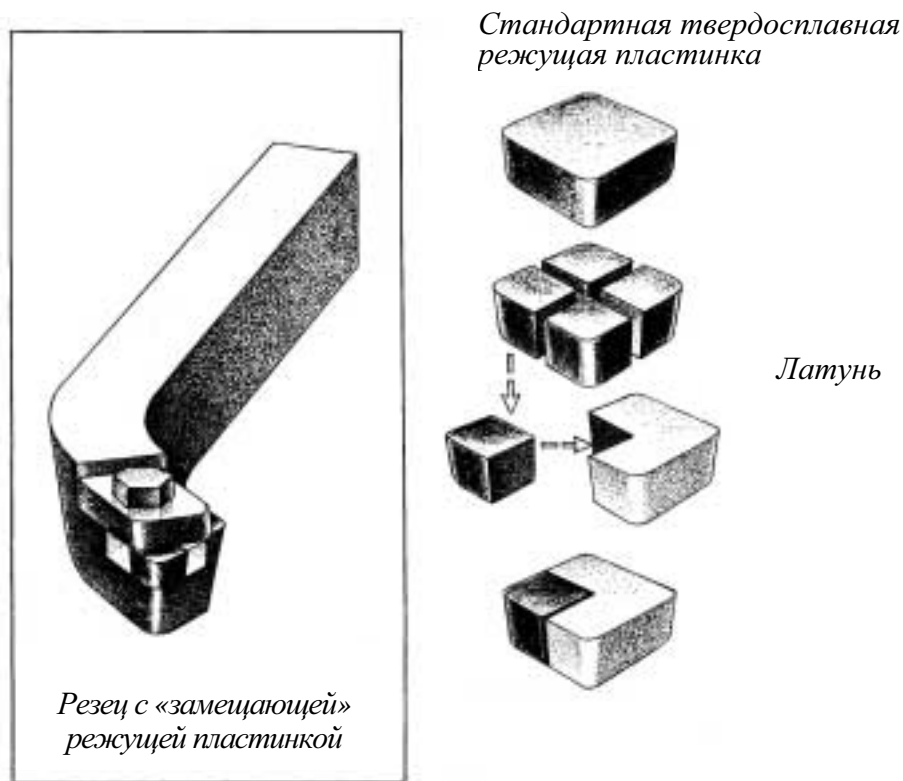


Рис. 1. Схема с использованием режущих твердосплавных пластинок

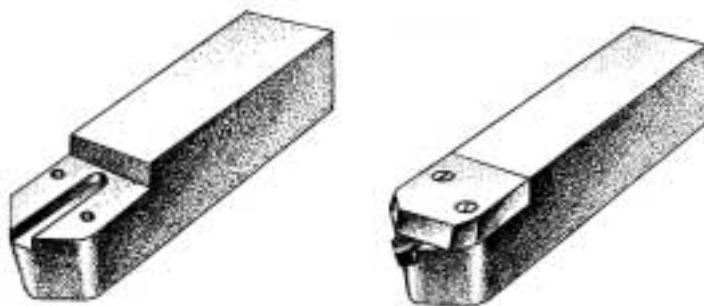


Рис. 2. Схема с утоплением режущего твердосплавного материала в более теплопроводную державку инструмента

Преимущества разработки и достигаемый технико-экономический эффект, выявленные в ходе проведения производственных испытаний предлагаемых конструкций инструментов:

- сокращение в 2...3 раза расхода дефицитных и дорогостоящих твердосплавных режущих материалов, расходуемых на единицу изготавливаемой продукции до внедрения описываемых конструкций инструментов;
- повышение производительности процесса лезвийной обработки материалов на 25...30% (за счет повышения теплопроводности режущих инструментов измененной конструкции и соответствующего усиления теп-

лоотвода из зоны стружкообразования, что позволяет увеличить скорость резания без потери работоспособности инструмента);

- повышение на 30-40% размерной стойкости и коэффициента запаса пластической прочности режущей кромки предлагаемых инструментов, достигаемое в результате увеличения теплопроводности и соответствующего снижения перегрева этих инструментов;
- снижение себестоимости изготавливаемой продукции за счет сокращения расхода режущих инструментов и уменьшения не только времени переточек, но и количества этих переточек, приходящихся на единицу изготавливаемой продукции.

**А.С. Хабаров, В.Г. Гусев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА БЕЗ СВЯЗКИ**

Наиболее часто используемым методом финишной обработки является шлифование, позволяющее получить высокую точность размеров, наибольшую шероховатость обработанной поверхности. Но такой технологический метод имеет недостатки, основным из которых является температура в зоне обработки, приводящая к появлению прижогов, микротрещин и других дефектов в обработанном поверхностном слое. Выделяемое при шлифовании тепло вызывается возникающим в процессе обработки трением между поверхностью детали и связкой круга. Одним из путей уменьшения тепловыделения в зоне обработки является применение абразивного инструмента без связки, в котором зерна скрепляются между собой по контактными поверхностями абразивных зерен.

Возможность получения такого инструмента подтверждается работами в Волгоградском политехническом институте. Получение абразивного бруска без связки достигалось воздействием на порошок электрокорунда взрывной ударной волной с давлением до 600...900 кбар и последующим спеканием. Брусок в процессе обработки не вращается, а, следовательно, не испытывает значительных растягивающих напряжений. Однако все шлифовальные круги вращаются с большой частотой в процессе резания, поэтому они подвергаются действию значительных растягивающих напряжений, что вызывает необходимость создания инструмента способного противостоять таким нагрузкам.

В настоящее время на кафедре ТМС ВлГУ проводятся работы по созданию шлифовального круга без связки. Такой круг должен обладать значительно большей механической прочностью, с целью преодоления мо-

ментов и сил резания в процессе шлифования. В качестве материала круга использовали электрокорунд белый, который подвергали многократному статистическому прессованию с давлением свыше 1000 МПа, после чего получаемая заготовка термообработывалась. Трудность получения изделия на этапе формирования заготовки инструмента заключалась в том, что при извлечении из прессформы заготовка круга приобретала внутренние дефекты, которые при термообработке усугублялись низкой теплопроводностью окиси алюминия и приводили к появлению трещин, сколов, откалыванию отдельных частей от основной массы круга. Эти проблемы планируется решать разработкой специальных технологий прессования и обеспечением плавного нагревания образца при спекании, что позволит увеличить плотность и прочность заготовки.

По сравнению со стандартным инструментом шлифовальный круг без связки характеризуется рядом особенностей. Отсутствие связки приводит к увеличению числа режущих зерен, приходящихся на единицу поверхности инструмента, что обеспечивает при одной и той же зернистости, повышение производительности обработки, снижение шероховатости обработанной поверхности. При дроблении зерен во время прессования они приобретают форму с минимальными радиусами скругления кромок, что также способствует уменьшению шероховатости обработанной поверхности. Кроме того, такая форма зерен и отсутствие связки обеспечивает более благоприятные условия пластического деформирования при стружкообразовании, что приводит к уменьшению силы резания, температуры в зоне обработки, и, следовательно, к улучшению качества поверхностного слоя детали.

**Е.О. Худякова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Развитие специальных отраслей машиностроения обусловило значительный рост потребления высокопрочных, нержавеющей и антикавитационных сталей, а так же жаропрочных, магнитных и твердых сплавов. Обработка этих материалов резанием связана с большими трудностями, а в некоторых случаях невозможна. В промышленности для обработки деталей сложной конфигурации из новых таких материалов наряду с механическими способами находит применение размерная обработка, к которой относятся процессы и операции электрохимической, электрофизической и комбинированной обработки. В связи с расширением области применения

точного литья и обработки давлением увеличилась потребность в литейных формах, прессформах и штампах, трудоемких в изготовлении. Существующее в настоящее время оборудование обладает ограниченной площадью обработки, что не удовлетворяет потребностей производителей. Увеличение площади снимаемой поверхности приводит к резкому увеличению давления, к перекосам и деформациям электрода-инструмента, что влечет за собой уменьшение точности и качества обработки.

Исследование влияния различных факторов на точность размерной обработки можно провести на основе предлагаемой ниже математической модели. Точность процесса определяют первичные факторы обработки  $a_{1i}$ , которые в процессе съема материала превращаются во вторичные  $a_{2j}$  (выходные) параметры, поддающиеся количественной оценке.

К первичным факторам относятся погрешности механической части станка, инструмента, детали, схемы обработки, режимов резания и среды электролита. К вторичным параметрам относятся точность обработки, стойкость инструмента, производительность и экономичность. Функция связи между вторичными и первичными параметрами определяется в процессе обработки  $a_{2j} = f(a_{1i})$ .

Математическая модель размерной обработки учитывает погрешности первичных факторов  $\Delta a_i$ , а также физические, химические, тепловые и деформационные процессы, происходящие в период обработки  $f_i(\Delta a_i)$ . Общая погрешность размерной обработки сводится к выражению:

$$\Delta A = \sum_i (\Delta a_{2i}) = \sum_i f(\Delta a_{1i}) = \Delta Y + \varepsilon + \Delta h + \Delta T + \Delta U + \sum \Delta \Phi + \delta + S,$$

где  $\Delta Y$  – упругая погрешность,  $\Delta T$  – тепловая погрешность,  $\Delta U$  – ошибка инструмента,  $\Delta h$  – ошибка настройки,  $\sum \Delta \Phi$  – ошибка закрепления,  $\varepsilon$  – ошибка базирования и  $\delta$  – локальная погрешность технологических параметров. Определение функций связи  $\Delta a_2 = f(\Delta a_1)_i$  является самостоятельной задачей.

Анализ погрешности  $\Delta A$  показывает, что увеличение площади размерной обработки влечет за собой существенное увеличение отдельных составляющих погрешности. Для уменьшения  $\Delta A$  необходимо изменять характеристики привода электрода-инструмента, от которых зависят составляющие  $\Delta Y$ ,  $\Delta U$ ,  $\varepsilon$  и  $\delta$ . Повышение жесткости исполнительного механизма, выбор рациональной схемы привода, повышение точности изготовления и сборки приводит к уменьшению этих величин, а, следовательно, и к повышению качества размерной обработки.

**А.А. Черепенько, М.Ф. Селеменев**

*Россия, г. Орел, ОрелГТУ*

**А.П. Черепенько**

*Россия, г. Орел, ОрелГТУ*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГЛАДИЛЬНЫХ ПОДУШЕК В ПРОЦЕССЕ ВЫРАВНИВАНИЯ**

В процессе прессования полуфабриката при влажно-тепловой обработке (ВТО) объектом механического воздействия является пакет тканей. При этом максимальная деформация, необходимая при выполнении операций утонения, в первую очередь, обусловлена пористостью ткани.

В современных тканях на единицу объема вещества приходится от двух до пяти объемов воздуха. Наряду с пористостью тканей существенное влияние на величину деформации оказывает механическая нагрузка. Причем, активный рост деформации тканей имеет место при увеличении удельного давления до 0,12 МПа, что соответствует максимальному рекомендуемому пределу для ВТО (операции утонения), и дальнейшее его повышение неэффективно, поскольку вызывает ласообразование – приобретение тканью местного блеска, что ухудшает внешний вид изделия. Таким образом, одним из значимых факторов, влияющих на величину деформации тканей в процессе ВТО, является механическое воздействие, обусловленное периодом нагружения, нагруженного состояния и разгружения. Другим фактором является длительность, не превышающая 10 с.

При этом существенное влияние на качество и производительность оказывают рабочие поверхности верхних и нижних гладильных подушек, непосредственно контактирующие с обрабатываемым полуфабрикатом. В процессе эксплуатации в результате накопления остаточных деформаций рабочие поверхности изгибаются и через определенное количество циклов тепломеханического нагружения становятся непригодными для использования.

В связи с этим нами разработана технология изготовления каждой рабочей поверхности с предварительно изогнутой гладильной плитой и последующим выравниванием посредством циклического тепломеханического нагружения.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований механического нагружения рабочей поверхности в процессе одного цикла выпрямления при различных удельных давлениях в пределах ВТО – 0,04...0,12 МПа.



Длительность цикла принята равной максимальной технологической для ВТО – 10 с.

Исследования проводились на специально разработанной установке [1], оснащенной рабочей поверхностью из алюминиевого сплава В124 (рис. 1).

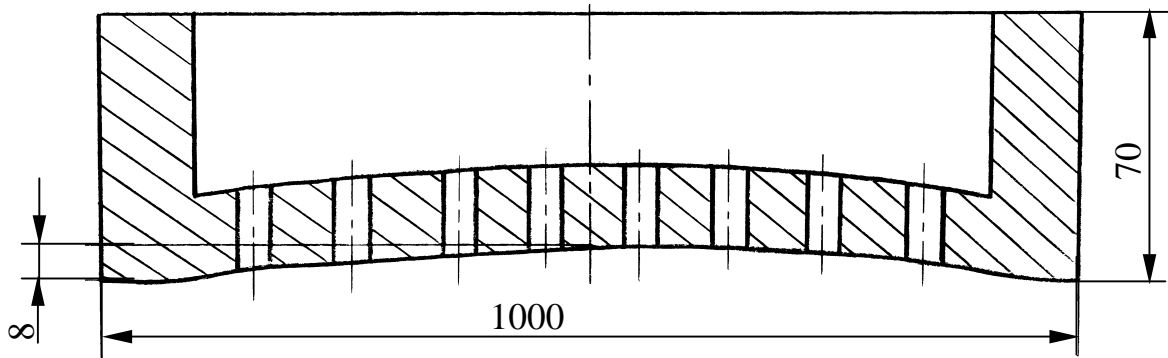


Рис. 1. Конструктивная схема рабочей поверхности до исследования

Регистрация силовых параметров осуществлялась осциллографом посредством тензорезисторов. Результаты исследований силовых параметров при различных удельных давлениях в течение одного цикла позволили установить характер нагружения рабочей поверхности в процессе выравнивания и определить зависимость распределения механической нагрузки во времени, а также выявить области нагружения, нагруженного состояния и разгрузки (рис. 2).

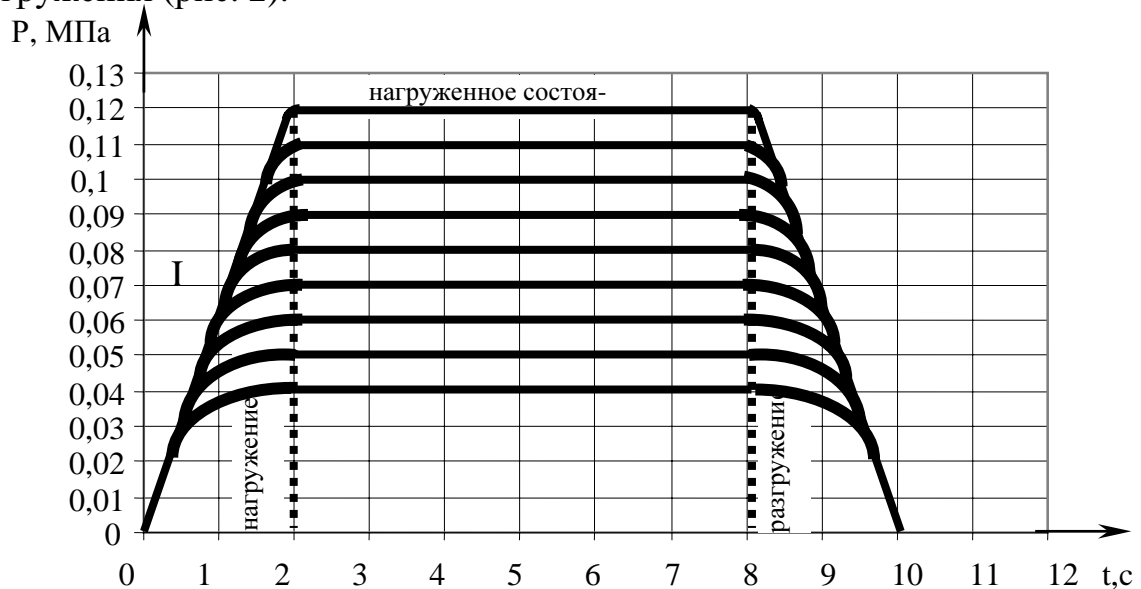


Рис. 2. Зависимость циклической нагрузки от длительности силового воздействия на рабочую поверхность

Аппроксимация результатов экспериментов силового воздействия на рабочую поверхность во времени показала, что удельное механическое давление определяется:

- на участке нагружения – I:

$$P = 0,06 \text{ МПа } t \text{ (сек) при } 0 \leq t \leq 2;$$

- на участке нагруженного состояния – II:

$$P = 0,04 \dots 0,12 \text{ МПа } t \text{ (сек) при } 2 \leq t \leq 8;$$

- на участке разгрузки – III:

$$\frac{t - 8}{2} = \frac{P - 0,12}{-0,12}$$

$$-0,12 t + 0,96 = 2 P - 0,24$$

$$2 P = -0,12 t + 1,2$$

$$P = -0,06 \text{ МПа } t + 0,6 \text{ МПа при } 8 \leq t \leq 10.$$

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2160803 МКИ 7D06f71/18. Установка для циклической тепломеханической обработки рабочей поверхности гладильной подушки / А.А. Черепенько, Ю.С. Степанов, А.П. Черепенько (РФ).

**М.Н. Шипко, В.А. Полетаев, В.Ф. Воробьев, Н.В. Ильин, А.С. Орлов**  
*Россия, г. Иваново, ИГЭУ*

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Для улучшения свойств инструментальных сталей широко применяют технологию их диффузионного насыщения азотом. Необходимая скорость диффузии азота достигается только при высоких температурах. Вместе с тем нагрев металлических деталей до высоких температур оказывает отрицательное влияние на их прочностные свойства. Повысить скорость диффузии в кристаллической решетке металла при пониженных температурах возможно за счет увеличения энергии взаимодействия диффундирующего компонента с его поверхностью. Такой эффект достигается при обработке металлов в газовых разрядах, когда ионы, образовавшиеся в разрядном промежутке и ускоренные в электрическом поле, бомбардируют поверхность обрабатываемой металлической детали.

Энергия взаимодействия иона с поверхностью детали определяется градиентом потенциала вблизи электрода и длиной свободного пробега иона. Учитывая необходимость повышения энергии взаимодействия ионов

с поверхностью детали, можно рекомендовать проводить подобную обработку металлов в газовых средах при низких давлениях, в так называемом тлеющем разряде.

Распределение электрического поля вдоль газоразрядного промежутка в тлеющем разряде неравномерное – наибольшая часть электрического напряжения приложена к узкой области вблизи катода (рис. 1), в которой происходит ускорение электронной и ионной компонент.

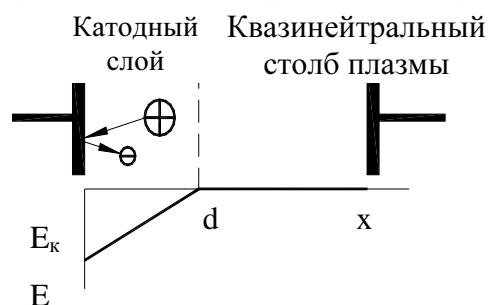


Рис. 1. Распределение электрического поля между электродами в тлеющем разряде

положительно заряженных ионов происходит вблизи границы раздела между катодным слоем и столбом квазинейтральной плазмы тлеющего разряда за счет ударной ионизации нейтральной компоненты ускоренными электронами. Из зоны образования положительно заряженные ионы ускоренно движутся в направлении катода. На пути своего движения они могут вступать во взаимодействие с нейтральными компонентами среды, рассеивая при этом большую часть накопленной энергии.

Таким образом, энергия взаимодействия положительных ионов с обрабатываемой деталью (катодом) в основном будет зависеть от величины напряженности электрического поля вблизи поверхности катода и соотношения ширины катодного слоя ( $d$ ) с длиной свободного пробега ионов. Чем больше средняя напряженность электрического поля на последнем участке ускорения ионов перед ударом их в катод и чем меньше отличие длины свободного пробега ионов от ширины катодного слоя ( $d$ ), тем большую энергию могут накопить ионы в процессе своего ускорения. Увеличение напряжения на разрядном промежутке и увеличение давления среды приводят к увеличению средней напряженности электрического поля в катодном слое и сужению зоны катодного участка ( $d$ ). Это благоприятно сказывается на процессе накопления энергии ускоряемых электрическим полем ионов. Однако при этом одновременно уменьшается длина свободного пробега ионов, т.к. с ростом давления возрастает плотность нейтральной компоненты. Можно преодолеть этот негативный фактор, увеличивая степень ионизации газа в разрядном промежутке, например, переводя тлеющий разряд в аномальную форму. Степень аномальности тлеющего разряда обычно оценивается по отношению плотности тока при аномальной форме к плотности тока при нормальной форме.

Расчеты показали, что энергия бомбардирующей поверхность катода положительных ионов определяется корневой зависимостью от степени аномальности тлеющего разряда и может быть оценена по формуле

$$W^{(+)} \approx 2.214^{12} \sqrt{\left(\frac{\delta}{\delta_n}\right)} \cdot \frac{e B T}{N_0 \sigma_{tr}}, \text{ эВ}, \quad (1)$$

где  $\left(\frac{\delta}{\delta_n}\right)$  - степень аномальности тлеющего разряда;  $e$  - заряд электрона,

Кл;  $B$  - константа в формуле расчета ионизационного коэффициента Таунсенда, В/(м·Па);  $T$  - температура газа, К;  $N_0$  - плотность потока ударяющихся частиц (при давлении 133,29 Па и 273 К), м<sup>-3</sup>;  $\sigma_{tr}$  - транспортное сечение столкновений ионов с молекулами газа, м<sup>2</sup>.

На рис. 2 представлены  $W_{и}$ , эВ расчетные зависимости энергии ионов от степени аномальности тлеющего разряда, построенные по (1). При постоянном электрическом напряжении на разрядном промежутке можно достичь степени аномальности тлеющего разряда до  $10^3 \dots 10^4$ , что соответствует энергии ионов 1...5 кэВ.

Дальнейшее увеличение напряжения приводит к переходу тлеющего разряда в дуговой, снижению падения напряжения на разрядном промежутке и потере эффекта ускорения ионов. Можно предотвратить процесс дугообразования за счет ограничения времени воздействия высокого ускоряющего напряжения на разрядный промежуток, т.е. прикладывая к разрядному промежутку импульсное напряжение. Учитывая, что время установления стационарного тлеющего разряда достигает нескольких десятков микросекунд, а процессы дугообразования требуют на порядок большего времени, целесообразно прикладывать импульсы высокого напряжения к предварительно ионизированному промежутку со сформированным прикатодным слоем.

Исследования процессов азотирования инструментальных сталей в газовых разрядах низкого давления проводились на лабораторной установке. Предварительно отполированный и тщательно очищенный образец поме-

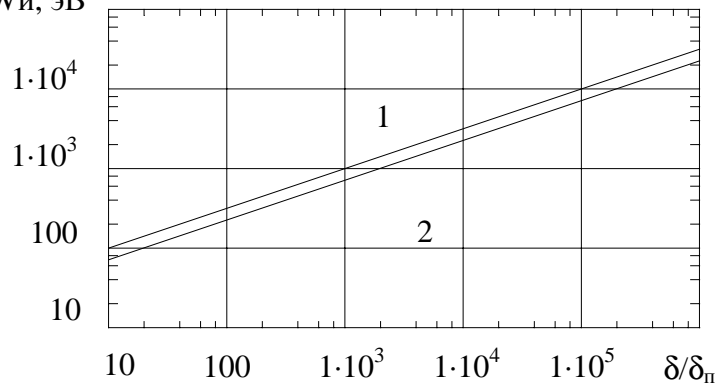


Рис. 2. Зависимость энергии ионов от степени аномальности тлеющего разряда:  
1 - азот, 2 - водород

щался в вакуумную камеру, где создавался тлеющий разряд. В электрической схеме исследуемый образец являлся катодом, а в качестве анода

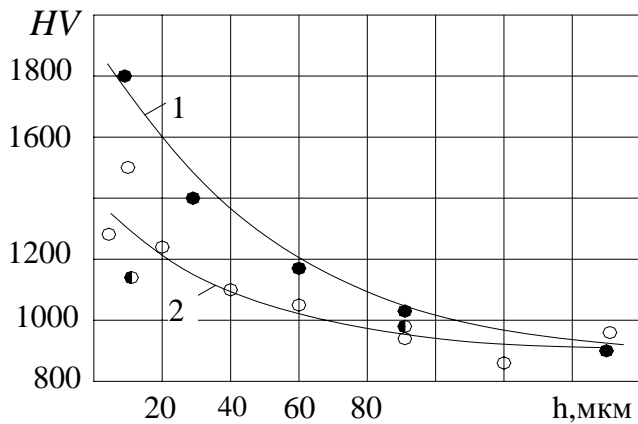


Рис. 3. Результаты исследования микротвердости образцов из стали Р6М5 на различной глубине от поверхности образца ( $h$ )

использовалась изолированная от стенок камеры стальная пластина. В процессе исследования к образцу прикладывались постоянное, импульсное и пульсирующее напряжения. Амплитуда напряжения на разрядном промежутке изменялась в широких пределах, но не превышала 15 кВ. На рис. 3 приведены результаты исследования микротвердости образцов из стали Р6М5, которые обрабатывались в тлеющем разряде в

среде азота при постоянном, импульсном и пульсирующем напряжениях (1 – пульсирующее напряжение  $U_{\max}=15$  кВ); 2 – постоянное напряжение  $U=2$  кВ). Данные показывают, что наиболее эффективное упрочнение стали происходит при воздействии пульсирующего напряжения.

## **Секция 3**

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

---

**А.А. Барзов, С.К. Сальников, В.Н. Харитонов**

*Россия, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Калининградский судоремонтный завод,  
ММПП «Салют»*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНО- ЖИДКОСТНОЙ РЕЗКИ МАТЕРИАЛОВ**

Одним из прогрессивных технологических методов формообразования деталей, в частности производительного и качественного раскроя листовых заготовок, является абразивно-жидкостное резание. В связи с этим, широкие технологические возможности и преимущества абразивно-жидкостного резания (АЖР) труднообрабатываемых материалов определяют актуальность исследований по повышению технико-экономической эффективности данного перспективного метода механической обработки материалов.

С целью выявления наиболее значимых направлений исследований по совершенствованию АЖР на основе положений теории принятия решений были сформулированы основные пути повышения эффективности АЖР. В частности, к ним относятся возможность повышения рабочего давления струи, оптимизация геометрических параметров струеформирующих элементов (жидкостного и абразивно-жидкостного сопла), повышение режущей способности абразива и т.д. Данные направления, представленные в виде анкеты, были подвергнуты анализу специалистов-технологов (экспертов). Результаты анкетирования обрабатывались методами традиционной квалиметрии, что позволило научно обосновать наиболее перспективные направления развития АЖР.

Интересно отметить, что наряду с традиционными направлениями, такими как повышение рабочего давления струи и оптимизация геометрии сопел, высокую оценку специалистов получила возможность повышения эффективности АЖР за счет наложения дополнительных физико-механических воздействий на зону обработки, в частности, создание растягивающих напряжений, перпендикулярных траектории реза.

Отметим, что физический механизм повышения производительности АЖР материала в «растянутом» состоянии связан с уменьшением числа циклов нагружения материала (ударов частиц абразива), требуемых для

отделения некоторого характерного объема обрабатываемого материала в соответствии с классическими представлениями теории малоциклового усталости.

В техническом отношении стоит задача создания поля растягивающих напряжений достаточной величины в зоне обработки, перпендикулярных линии реза. Эта задача может быть решена чисто механическим путем за счет применения подвижных «растягивающих» устройств различной конструкции, а также косвенными методами, которые обеспечивают наведение растягивающих напряжений в зоне резания непосредственно в процессе обработки.

Кроме того, экспертами отмечалась перспективность оптимизации кинематического фактора АЖР, под которым понимается совокупность геометрических параметров, характеризующих положение оси (центральной части) жидкостной или абразивно-жидкостной струи относительно обрабатываемой поверхности и движения подачи.

Условно эти параметры можно разделить на стационарные и динамические. К стационарным параметрам относятся углы взаимодействия струи с преградой, в первую очередь, «угол атаки», – угол между вектором скорости струи и вектором движения подачи. Динамические параметры характеризуют изменение во времени стационарных параметров, и их комбинация позволяет предложить различные способы АЖР, например, вибрационную абразивно-жидкостную обработку.

Проведенные предварительные эксперименты на оптически прозрачном материале подтвердили существенное влияние кинематического фактора на производительность АЖР, что указывает на перспективность дальнейшего изучения этого важного технологического параметра АЖР.

Таким образом, анализ путей повышения эффективности АЖР методами теории принятия решений показал, что наряду с традиционными направлениями, интерес представляют новые методы, перспектива применения которых обусловлена их влиянием на кинетику механизма разрушения материала в зоне обработки.

**А.А. Барзов, Э.Ю. Пшеничников**

*Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ВПМЗ «Молот»*

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПОГРЕШНОСТЕЙ БАЗИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

При оценке точности механической обработки деталей с учетом погрешностей базирования, широко используются методы теории вероятностей. Однако, при построении конкретных моделей расчета точности в за-

висимости от вида обработки, обычно не учитываются, в вероятностном смысле, фактические размеры базовых поверхностей. Поэтому, принципиально схемы расчета точности обработки крупно- и малогабаритных деталей не отличаются, так как в исходных соотношениях не находит своего отражения «масштабный» фактор базирования (МФБ).

Физический смысл МФБ состоит в том, что с увеличением площади поверхности контакта между деталью и приспособлениями растет вероятность появления на нем отдельных аномальных отклонений формы (выступов) по которым происходит реальное базирование. Из-за случайной ориентации детали относительно приспособления, при некоторых видах обработки, например в угловом направлении, при точении заготовок конусообразной оболочковой формы на конической оправке, появляется специфическая погрешность базирования, которая зависит от МФБ.

Для теоретического анализа данной «масштабной» погрешности базирования и ее влияния на точность обработки можно использовать известные соотношения статистической механики разрушения, вкладывая в другой технологический смысл в исходные соотношения. Например, вводя понятия «средней концентрации» аномальных участков контакта между деталью и приспособлением, можно получить в замкнутом виде вероятностное уравнение, отражающее МФБ. Согласно этому уравнению, с ростом номинальной площади контакта (поверхности базирования) экспоненциально растет вероятность неопределенности базирования (своеобразия избыточности технологических баз) из-за среднестатистического увеличения аномальных отклонений формы контактирующих тел (детали и заготовки). Данное уравнение позволяет весьма эффективно осуществлять имитационное моделирование процесса базирования с учетом МФБ для относительно жестких деталей и определять статистические параметры точности обработки. Для использования предлагаемого подхода в практических расчетах точности необходимо экспериментально, например, с применением теории малых выборок к обработке результатов опытов, определить постоянные (константы) вероятностного уравнения, описывающего МФБ для каждого конкретного вида обработки, а затем обобщить полученные соотношения на исследуемые группы деталей. Необходимо подчеркнуть, что наиболее эффективно применять полученное вероятностное уравнение для анализа условий базирования жестких деталей, однако в перспективе не исключена возможность его модификации для условий упругого и упруго-пластического деформирования. Таким образом, вероятностное описание МФБ является весьма полезным при анализе точности механической обработки, расчете и проектировании станочных приспособлений для формообразования прецизионных жестких деталей любых габаритов. При соответствующей корректировке



предложенный вероятностный подход к оценке точности с учетом МБФ может оказаться достаточно эффективным при расчетах точности, реализуемый при выполнении значительного класса сборочных операций на предприятиях различных отраслей промышленности.

**В.Ф. Безъязычный, В.А. Козлов, Ю.В. Емельянов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

### **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПУТЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

Одним из возможных вариантов решения проблемы целенаправленного повышения точности лезвийной обработки деталей с минимальными материальными затратами является научно обоснованное динамическое изменение режимных условий анализируемого процесса резания, осуществляемое на основе предварительного прогнозирования выходных характеристик лезвийной обработки и их целенаправленной коррекции, что реально осуществимо на станках с ЧПУ. С целью практической реализации подобного решения авторами на основе обобщения результатов теоретического анализа физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процесс резания, разработано единое аналитическое выражение критериального типа, позволяющее на этапе технологической подготовки производства определять суммарную погрешность заготовки в любой локальной зоне в пределах обрабатываемого участка.

Используя это выражение в качестве математического обеспечения, создали автоматизированную систему САПР ТП, результатом работы которой является карта наладки станка и управляющая программа для различных систем ЧПУ (Н22-1МР, 2Р22, 2Р32М, НЦ31-02, Н22-1МТ1 и др.).

Данная управляющая программа позволяет реализовать закономерность динамического изменения режимов резания, обеспечивающую при токарной обработке деталей на станках с ЧПУ (со ступенчатым и бесступенчатым изменением режимов резания, см. рис. 1) не только заданную размерную точность, но и одинаковую (минимальную по величине) погрешность формы вдоль обработанной поверхности этих деталей при выполнении технико-технологических ограничений, накладываемых на процесс резания.

Результаты производственных испытаний подтвердили работоспособность и высокую экономическую эффективность предлагаемой автоматизированной системы, что позволяет рекомендовать ее для практического использования с целью повышения точности токарной обработки деталей

машин и механизмов на станках с ЧПУ без применения дорогостоящих систем адаптивного управления.

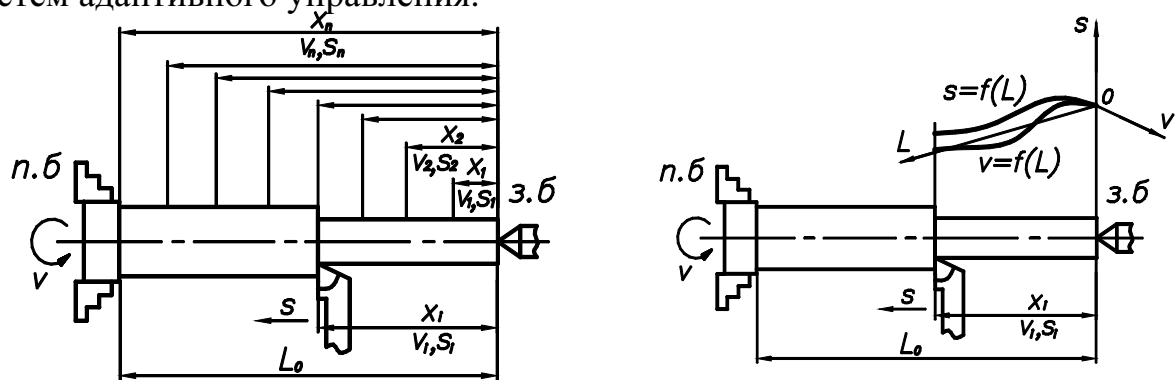


Рис. 1. Схемы работы токарных станков с ЧПУ со ступенчатым и бесступенчатым (непрерывным) изменением режимов резания на обрабатываемом участке заготовки

Отдельные фрагменты работы указанной автоматизированной системы представлены на рис. 2.

Результат расчета оптимальных режимов резания

Точка	z, мм/об	V, м/с	n, об/мин	Fa, мм	Fz, мм	Kпр1	Kпр2
1	0.074	1.405	496.8	0.472	1.988	1.76	2.447
2	0.084	1.327	469.5	0.472	1.988	2.00	2.398
3	0.096	1.250	442.1	0.472	1.988	2.28	2.347
4	0.106	1.195	422.7	0.472	1.988	2.51	2.308
5	0.116	1.147	405.7	0.472	1.988	2.74	2.272
6	0.126	1.104	390.6	0.456	1.925	2.97	2.239
7	0.134	1.074	379.7	0.519	2.175	3.16	2.215
8	0.140	1.052	372.1	0.570	2.372	3.29	2.197
9	0.146	1.032	364.9	0.623	2.577	3.43	2.180
10	0.148	1.025	362.6	0.642	2.648	3.48	2.175
11	0.150	1.019	360.4	0.660	2.719	3.52	2.169
12	0.148	1.025	362.6	0.642	2.648	3.48	2.175

Карта наладки станка с ЧПУ

Управляющая программа для системы ЧПУ: 9600M5

```

N1(DIS,"T1.1 NAR")
N2T1.1M6
N3(UA0.7)
N4(U10.X0.Z0)
N5G295100M3
N6G90G97G95
N7G0X106Z210
N8G54
N9G120F0.5
N10E32=0
N11(RPT,12)
N12E25=496.1783692038-3.1425429168E32+0.0219574039E32+E32-0.0000421906E32+E32-E32
N13E26=0.0732900032+0.0011087670E32+0.000009631E32+E32-0.000000442E32+E32-E3
2
N14E32=E32+10.0000000000
N15E33=0.E32
N16G90G1Z233FE255F25M3
N17(ERP)
N18G1690G66F0.5
    
```

Диаметры		Лин. размеры		Параметры обработки	
d1, мм	10	L1, мм	25	Min X, мм	0
d2, мм	30	L2, мм	40	Max X, мм	120
d3, мм	55	L3, мм	84	Диаметр, мм	56
d4, мм	72	L4, мм	120	d0, мм	54
		L, мм	160		

Рис. 2. Фрагменты работы предлагаемой автоматизированной системы

**А.В. Белевич, П.В. Гольцов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ СХЕМ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Наблюдается интерес к вычислению температуры с помощью метода конечных элементов при анализе процесса передачи тепла в технологических системах. Однако из-за отсутствия универсальных методик оценки точности конечно-элементных схем инженерные решения, полученные лишь на основе интуитивного представления о соответствии численных результатов физическому процессу передачи тепла, зачастую расходятся.

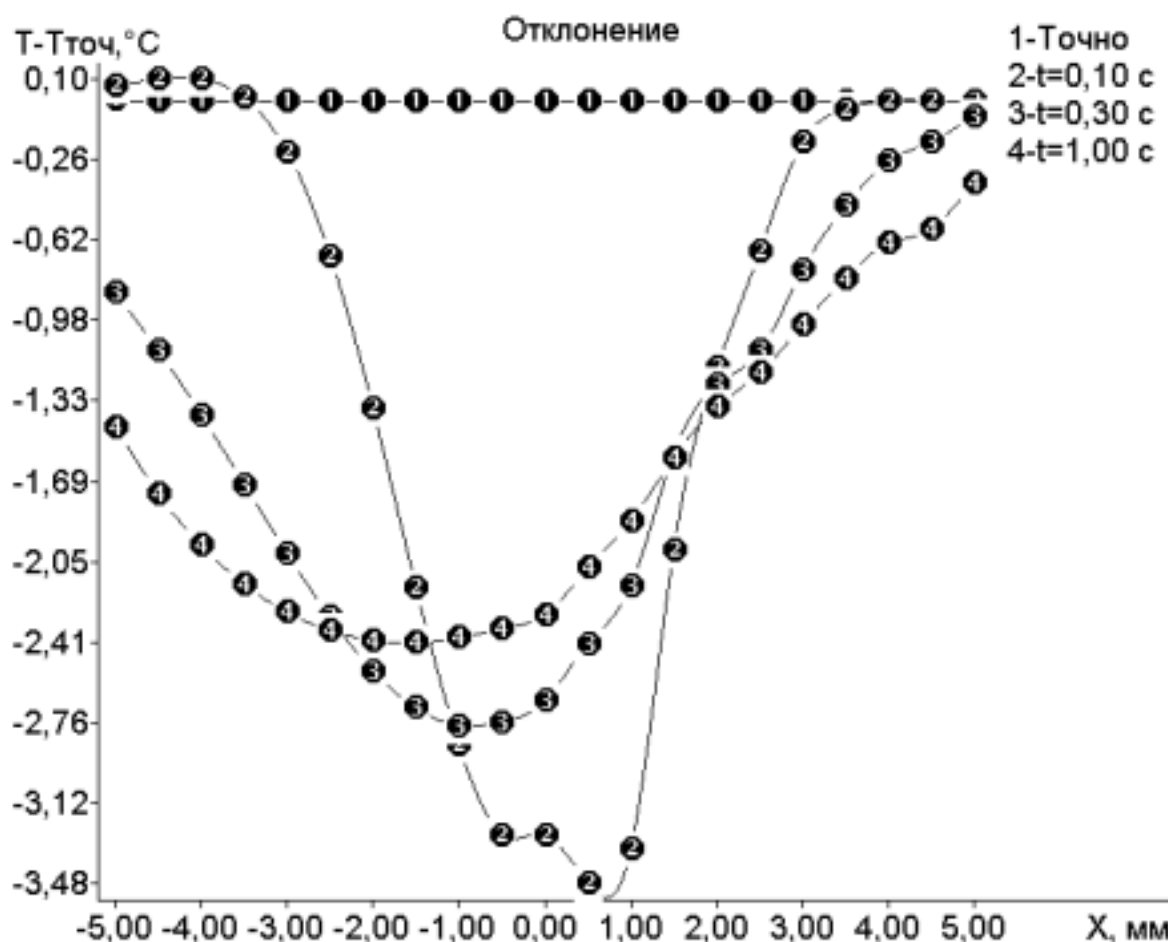
Для преодоления названных трудностей предложена методика экспрессной оценки точности конечно-элементных схем для вычисления температуры вблизи границы контакта твердых тел. Методика включает: вычисление температуры с использованием схемы МКЭ на основе метода Галлеркина, сравнение одноименных расчетных графиков температуры с точным решением задачи и погрешности ее вычисления при изменении параметров задачи. На завершающем этапе принимают обоснованное решение о рациональном сгущения сеток симплекс-элементов вблизи участков поверхности для повышения эффективности схемы.

Разработан алгоритм решения данных задач, обеспечивающий быстрый переход от одной задачи тестирования программы МКЭ к другой. Быстрота анализа обеспечивается за счет вывода на экран ЭВМ одновременно большого числа расчетных графиков погрешности относительно аналитического решения. Расчетным путем установлены значения шага по времени и размеры элементов для схемы на основе трехузлового элемента, обеспечившие приемлемую точность вычисления температуры на расстоянии от поверхности до 100 мм при длительности передачи тепла до 2 с между двумя телами с источниками на границе.

Рисунок соответствует процессу передачи тепла в составной области (сталь 10X18H9T и сталь 45) с источником тепла на границе контакта в течение 0,1 с, 0,3 с и 1 с. Положение графиков 1, 2, 3, 4 свидетельствует, что параметры схемы МКЭ, установленные методом численного эксперимента, являются рациональными, так как обеспечивают хорошее (с погрешностью меньше 4°C) совпадение с аналитическим решением задачи.

После проверки схем МКЭ по изложенной методике с помощью разработанного пакета FEM выполнено расчетное исследование распределения температуры в системе «металл-инструмент» при горячем прессовании стальных профилей. Установлено, что при нагреве наладок пресса до

200...350°C и разогреве рабочей поверхностного слоя инструмента в процессе эксплуатации до 650...800°C расхождение расчетных и измеренных значений температуры в одноименных точках рабочего слоя матриц с наибольшими значениями градиентов составили 10...20°C, что приемлемо для практики.



*Изменение погрешности вычисления температуры вблизи поверхности контакта полубесконечных тел*

На этом основании сделан вывод, что применение конечно-элементной системы FEM, разработанной в ВлГУ, для рассмотренного класса теплофизических задач обеспечивает приемлемую для практики точность вычисления температуры.

Полученные данные подтверждают надежность предложенной методики, универсальность разработанных программ и их пригодность для расчета температурных напряжений в прессовом инструменте.

**А.А. Бояринов**

*Россия, г. Москва, МГАПИ*

## **ПОСТПРОЦЕССОРНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

С точки зрения переработки информации постпроцессор можно считать специализированным транслятором, осуществляющим перевод с языка CLDATA на язык управляющей программы. Специфика CLDATA и выполняемых постпроцессором функций практически не позволяет эффективно применить методологию, используемую при проектировании компиляторов. Важным, однако, является то, что в своей работе любой транслятор существенно опирается на общепрограммные массивы (таблицы), предназначенные для отображения промежуточных состояний информации при ее переработке. Такие внутренние формы хранения информации в постпроцессоре и система связи между этими формами образуют информационную структуру постпроцессора.

Физически информационные массивы размещаются при работе постпроцессора в оперативной памяти. Логическая структура каждого массива определяется его назначением.

Система включает в себя следующие массивы.

Массив записей CLR используется для хранения в оперативной памяти очередной записи CLDATA и заполняется постпроцессорным блоком чтения записи.

Массив данных оборудования DST предназначен для хранения паспортных данных, параметров ограничений и других используемых в постпроцессоре сведений о технологическом оборудовании с ЧПУ. Заполнение массива производится блоком обработки постпроцессорного оператора MACHIN (запись типа 2000 подтипа 1015).

Предбуфер BR, буфер BUF и постбуфер FR предназначены для хранения информации о формируемых кадрах в виде, удобном для ее обработки блоком динамики и блоком вывода. Буфер BUF оформляется как двумерный массив и рассматривается как совокупность  $N$  однотипных строк. Предбуфер BR и постбуфер FR представляют собой одномерные массивы, логическая структура которых совпадает со структурой строки буфера. Каждая из строк буфера (а также предбуфер и постбуфер) содержат информацию об одном формируемом кадре. Таким образом, в оперативной памяти одновременно находятся сведения о нескольких кадрах, что необходимо для правильного формирования управляющей программы.

Предбуфер заполняется блоками обработки записей. В дальнейшем информация из предбуфера проходит через буфер, где корректируется

блоком динамики и попадает в постбуфер. Постбуфер является исходным массивом для работы блока вывода.

Введение в информационную структуру постпроцессора предбуфера и постбуфера дает по сравнению со структурой, содержащей только буфер, следующие преимущества:

1) позволяет локализовать использование двумерного массива буфера только в блоке динамики, что уменьшает число ошибок при программировании, сокращает время отладки и увеличивает надежность работы постпроцессора;

2) дает возможность разрабатывать универсальные постпроцессорные модули, не связываясь с определением конкретного числа строк буфера за счет использования элементов только предбуфера или постбуфера.

Число строк буфера  $N$  определяют исходя из особенностей того оборудования, для которого разрабатывается постпроцессор. При этом  $N$  должно быть достаточным для того, чтобы обеспечить решение всех задач по учету динамических ограничений технологического оборудования.

Сведения, содержащиеся в строке буфера, являются, по существу, подробными характеристиками формируемого постпроцессором кадра управляющей программы. Эти характеристики удобны для анализа текущей ситуации блоком динамики и для обработки их блоком вывода.

Формирование характеристик осуществляется блоками обработки записей. При этом каждый конкретный блок обработки записи заполняет только те элементы строки, за которые он «несет ответственность». Например, элементы, предназначенные для хранения координат центра обрабатываемой окружности, заполняются только блоком обработки записи типа 3000 (или 15000).

Входной DMT и выходной DMV массивы состояния служат для дискретного описания состояния технологического оборудования, в котором оно будет находиться при выполнении формируемой управляющей программы. При этом в DMT фиксируется состояние, соответствующее той точке, которая описывается в предбуфере, а в DMV — состояние, соответствующее точке, находящейся в постбуфере.

Структуры DMT и DMV необязательно совпадают, так как на уровне предбуфера (при обработке записи) и на уровне постбуфера (перед непосредственным выводом) для оценки состояния оборудования используются в общем случае различные параметры.

Массив команд кадра MKW содержит сведения о командах сформированного кадра управляющей программы. В каждый элемент массива помещена числовая информация, которая должна быть выдана в кадр под соответствующим адресом. Заполнение MKW осуществляется на первом этапе работы блока вывода.

На втором этапе информация из MKW преобразуется в символьную форму (в коды) и окончательно подготовленный кадр либо выводится на внешний носитель, либо помещается в буферный массив для последующего поблочного (например по 512 байт) вывода.

Общая схема переработки информации постпроцессором следующая.

После того как блок чтения записи произвел очередное считывание в CLR, распределяющий блок передает управление на первый уровень для обработки поступившей информации. По характеру проводимых далее действий все блоки обработки записей можно разделить на четыре группы.

К первой группе относится блок обработки оператора MACHIN, осуществляющий заполнение массива DST данными той модели оборудования, код которой указан в операторе.

Во вторую группу входят блоки, непосредственно не участвующие в формировании информации о кадрах управляющей программы. Особенностью блоков этой группы является отсутствие связи с программами второго уровня постпроцессора и, как следствие, отсутствие информационной связи с предбуфером BR. Результаты работы блоков либо помещаются в DMT, либо запоминаются как общепрограммные переменные для их последующего использования в других блоках.

Третью, наиболее многочисленную группу, составляют блоки, имеющие связь со вторым уровнем постпроцессора и работающие с предбуфером BR. Запись информации в BR осуществляется только с предварительным обращением к блоку управления выводом, который на основе анализа переданного ему запроса разрешает или запрещает запись в предбуфер.

Блоки, относящиеся к третьей группе, могут помещать информацию также в массив DMT, который используется для анализа состояния оборудования при заполнении предбуфера BR.

Выходной массив состояния DMV служит для анализа состояния при формировании массива команд кадра MKW.

И, наконец, в четвертую группу входят блоки, выводящие информацию непосредственно в управляющую программу.

Данная информационная структура не исчерпывает всего набора общепрограммных массивов и переменных, используемых в постпроцессоре. Однако перечисленные массивы играют стержневую роль и позволяют строить на их основе достаточно универсальную схему переработки информации из формы представления CLDATA в управляющую программу.

**В.А. Горелов**

*Россия, г. Москва, ММПП «Салют»*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК ДИСКОВ ГТД НА ПОСЛЕДУЮЩУЮ МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ**

Повышение механических свойств конструкционных материалов заготовок дисков газотурбинных двигателей и придание им форм с минимальными припусками под последующую механическую обработку является основной задачей технологии пластической деформации.

При изготовлении дисков ГТД применяются различные способы пластического формообразования: свободная ковка, штамповка и др., которые в сочетании с режимами термической обработки формируют определенные свойства заготовок в соответствии с ТУ. Технологический цикл получения заготовок предусматривает определенный разброс механических свойств заготовок в пределах ТУ. В зависимости от этих свойств, в частности от изменения твердости заготовок, возникают известные трудности в последующей обработке резанием.

Результаты исследования процессов пластического деформирования в различных условиях, моделирование этих процессов на ЭВМ позволяют определить напряженно-деформированное состояние по сечению заготовок.

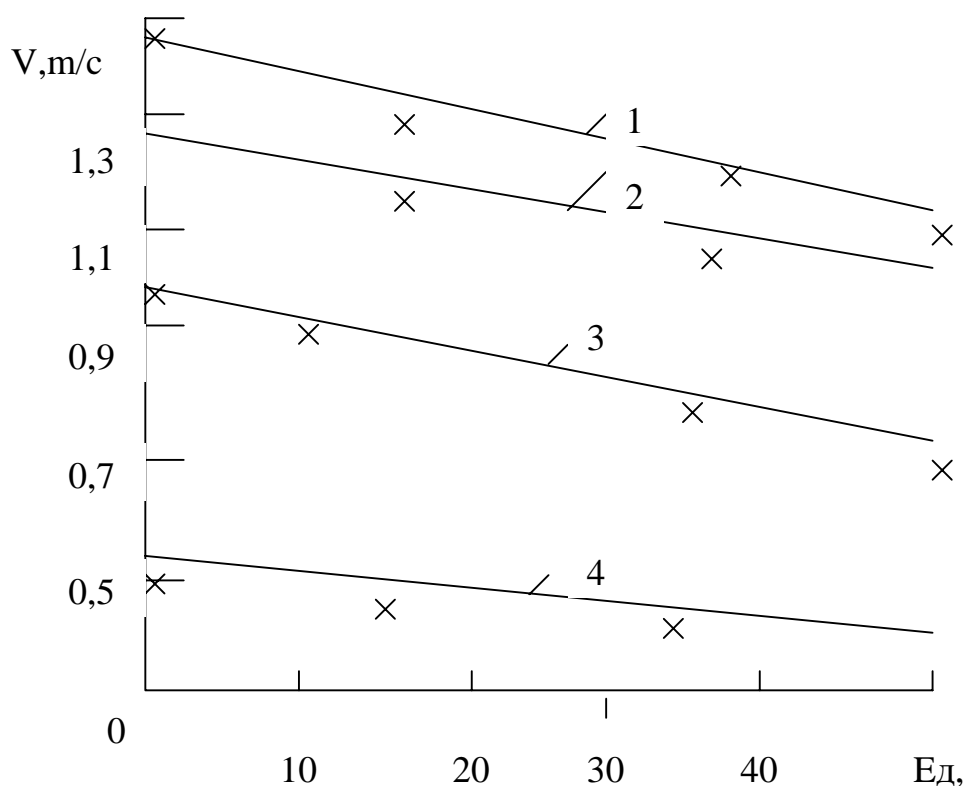
Работы, проведенные по моделированию процессов деформирования заготовок дисков с помощью пакета программ Q-form, разработанных фирмой «Quantor Ltd», позволили анализировать термосиловые процессы при заданных условиях деформирования и формирование свойств в заготовке.

Анализ моделирования процессов деформирования заготовок на ЭВМ показывает, что в сечениях исследуемых заготовок дисков для реальных условий пластического деформирования степень деформации в сечениях этих заготовок изменяется весьма неравномерно. Для оценки влияния степени пластической деформации заготовок на дальнейшую механическую обработку были изготовлены цилиндрические образцы из различных конструкционных материалов, применяемых при производстве деталей ГТД. Образцы изготавливали в соответствии с технологией, применяемой при изготовлении заготовок деталей ГТД из тех же материалов. При этом были получены различные степени деформации заготовок.

Обрабатываемость заготовок из выбранных материалов с различными степенями деформации определялась при токарной обработке по оптимальной скорости резания, определенной с помощью метода акустической эмиссии. По результатам проведенных исследований получены графики



зависимости оптимальной скорости резания от степени деформации обрабатываемых заготовок (см. рисунок).



*Влияние степени деформации на оптимальную скорость резания заготовок из материалов: 1 – X18H10T; 2 – BT3-1; 3 – ЭП718-ИД; 4 – ЭИ698-ВД*

Как видно из этих результатов, степень деформации оказывает значительное влияние на обрабатываемость резанием, которая имеет тенденцию к снижению с ростом степени деформации обрабатываемых заготовок в зависимости от материала заготовок.

Проведенная оценка влияния степени деформации материала на последующую механическую обработку показывает, что при выборе режимов обработки резанием заготовок их жаропрочных и титановых сплавов следует учитывать степень деформации заготовок, полученных методом деформирования.

Степень деформации заготовок по сечению может быть различной. Это особенно проявляется при получении заготовок дисков ГТД. Поэтому при выборе режимов токарной обработки заготовок дисков турбины и компрессора скорость резания должна быть регулируемая с целью обеспечения стабильного качества изготовления дисков. Такие условия могут быть реализованы на трехкоординатных токарных станках с ЧПУ.

**В.Ц. Зориктуев, С.Г. Гончарова, И.Ф. Месягутов**

*Россия, г. Уфа, УГАТУ*

## **МЕТОДИКА СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОМ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ**

В настоящее время с появлением микропроцессорных устройств числового программного управления (ЧПУ) и программируемых промышленных контроллеров появилась реальная возможность использовать резерв повышения эффективности металлообработки (повышение производительности, точности и качества) деталей путем оперативного формирования оптимальных режимов обработки.

В настоящее время определение и назначение оптимальных режимов обработки осуществляется либо с помощью эмпирических статических моделей процесса, которые адекватны процессу лишь в узких рамках технологических условий, либо посредством проведения предварительных технологических испытаний, которые требуют значительных временных и материальных затрат.

Поэтому формирование оптимальных режимов обработки в условиях автоматизированного малолюдного производства связано с проблемами решения целой серии задач, основными из которых являются задача формального описания поведения процесса, целей и ограничений управления, задача формирования алгоритмов управления.

На преодоление указанных проблем ориентирована методика синтеза информационной управляющей системы процесса металлообработки.

Решение первой задачи (формального описания процесса лезвийной обработки) опирается на методологию структурного анализа и проектирования SADT и ориентировано на построение базы знаний, содержащую модели процесса для назначения оптимальных режимов. Формальное описание на основе SADT представляет собой комплекс моделей: информационную, функциональную и динамическую.

Информационная модель процесса представляет собой множество взаимосвязанных сущностей (вид обработки, свойства обрабатываемого и инструментального материалов, геометрия режущей части инструмента, цели управления и т.п.) и их атрибутов.

Динамическая модель учитывает пространственно-временные характеристики процесса лезвийной обработки и строится на основе теории сетей Петри. Декомпозиция функциональных SADT моделей позволяет построить дерево принятия решений по выбору моделей, на основе которых формируются оптимальные режимы. При этом для разрешения конфликт-

ных ситуаций по выбору модели могут быть привлечены экспертные оценки.

Сложные физические явления, имеющие место в процессе лезвийной обработки, с одной стороны, требование к повышению степени автоматизации производства с другой стороны, а также декомпозиция SADT моделей обусловили необходимость в использовании иерархических принципов построения системы управления процессом лезвийной обработки.

Первый (нижний) уровень иерархии образуют регуляторы скорости двигателей, входящие в состав автоматизированных приводов, которые управляют режимами обработки: скоростью резания и подачей на основе задающих воздействий от устройства ЧПУ.

ЧПУ входит в состав второго уровня. Однако практика применения систем ЧПУ показала, что их работа по «жестко» заданной программе не отвечает современным требованиям к системам управления, функционирующим в условиях малолюдного производства. Это объясняется тем, что на этапе технологической подготовки производства при составлении технологии и написании управляющей программы для устройства ЧПУ невозможно учесть все возмущающие факторы, действующие на процесс, и заранее предугадать возможные состояния процесса.

Третий иерархический уровень включает регуляторы силы и температуры резания, которые на основе эталонных значений силы и температуры формируют для устройства ЧПУ значения частоты вращения шпинделя и подачи. Алгоритмы управления в контурах стабилизации силы и температуры резания синтезируются с использованием методов адаптивного управления.

Четвертый уровень использует методы ситуационного управления. Здесь на основе SADT моделей и оперативной информации от датчиков формируется программа управления температурно-силовыми режимами. Самый верхний уровень является стратегическим.

Использование SADT для построения базы знаний обеспечило минимальную избыточность и достаточную полноту, достоверность и непротиворечивость содержащейся в базе знаний информации. Кроме того, построенная база знаний в составе информационной управляющей системы обеспечивает достаточную гибкость управления любыми видами технологических процессов лезвийной обработки, такими как точение, фрезерование, сверление и шлифование.

**О.Н. Калачев, М.Н. Тихомиров**

*Россия, г. Ярославль, ЯрГТУ*

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ KON7 ДЛЯ РАСЧЕТА РАЗМЕРОВ МЕХАНООБРАБОТКИ**

При проектировании технологических процессов (ТП) механической обработки деталей обычно выполняется расчет операционных (техно логических) размеров и допусков на них. На практике технологические размеры различных стадий обработки влияют друг на друга, поэтому оптимальные значения размеров, выполняемых при обработке, не могут быть назначены однократным размерным расчетом – обычно требуется размерный анализ ТП. В результате размерного анализа выбирается такой вариант ТП, который обеспечивает выполнение технических требований чертежа с наибольшей эффективностью. Задача размерного анализа механической обработки должна решаться в комплексе работ по технологической подготовке производства (ТПП).

Выполнение размерных расчетов представляет известную сложность, поскольку необходимо, во-первых, выявить размерные цепи, а во-вторых, в ходе их совместного решения подобрать такие допуски составляющих звеньев, чтобы для каждой цепи обеспечивался баланс суммы их допусков и допуска замыкающего звена.

Для автоматизации определения технологических линейных размеров и допусков, а также припусков на всех переходах (операциях) технологического процесса механообработки разработана система KON7. Расчет технологических размеров производится на основе методики Мордвинова–Иващенко путем автоматического формирования и решения размерных цепей (РЦ), замыкающими звеньями которых являются конструкторские размеры чертежа и припуски на обработку, а составляющими звеньями – технологические размеры (в том числе и размеры заготовки). Использование системы наиболее эффективно в случаях многократной смены технологических баз (когда возникают взаимосвязанные размерные цепи с общими составляющими звеньями).

Использованию системы предшествует:

- подготовка нескольких вариантов маршрута обработки путем оформления традиционных операционных эскизов;
- построение размерной схемы по каждому варианту ТП.

На размерной схеме (рис. 1) между пронумерованными вертикальными линиями промежуточных поверхностей указываются размеры заготовки и технологические размеры в порядке их намечаемого выполнения сверху вниз.

Размеры заготовки показываются двухсторонней стрелкой, а технологические размеры механообработки – стрелкой, направленной от базы к обработанной поверхности.

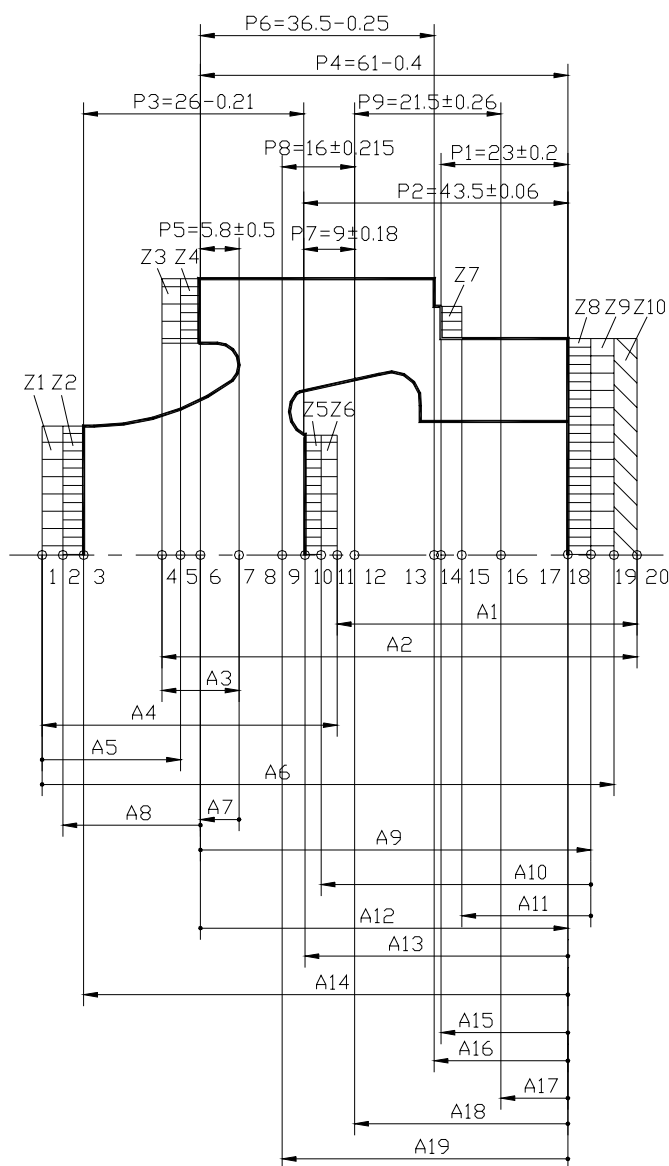


Рис. 1. Размерная схема

Развитый диалоговый интерфейс системы KON7 обеспечивает диагностику каждого вводимого звена и выдачу сообщений, как перед началом, так и в ходе расчета технологических размеров. Например, на рис. 2 показана реакция системы на ошибки подготовки исходных данных, связанные с размерной структурой ТП.

В результате расчета формируется окно результатов, полнота которых регулируется пользователем при настройке системы. Следует отметить возможность вывода сообщений по каждой размерной цепи для анализа

«узких» мест на отдельной операции или переходе ТП. Допуски на технологические размеры выбираются системой в зависимости от заданного метода и характера обработки.

В ходе решения РЦ для варианта ТП возможны ситуации, когда расчетный допуск искомого технологического звена меньше заданного технологического допуска, т.е. требуемая точность замыкающего размера не обеспечивается. В такой ситуации системой выводится сообщение, после чего она, корректируя допуск в сторону уменьшения, пытается продолжить решение РЦ.

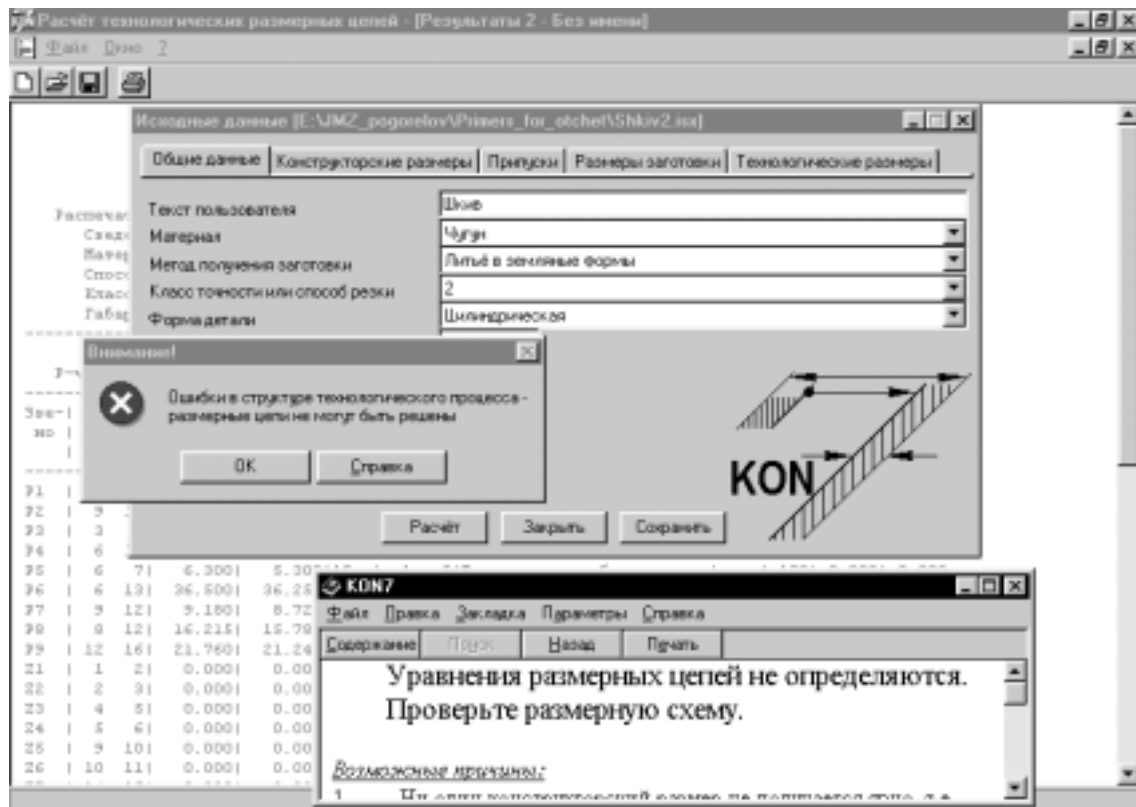


Рис. 2. Реакция системы на ошибки подготовки исходных данных

Изучая полученные результаты, пользователь может внести изменения в намеченный технологический процесс:

- принять другую схему базирования и последовательность обработки с целью сокращения числа звеньев в РЦ;
- ввести более точные методы окончательной обработки некоторых поверхностей;
- указать большие припуски на обработку;
- задать меньшие допуски на технологические размеры, получаемые на оборудовании повышенной точности.

Анализ результатов расчета по нескольким вариантам технологического процесса позволит выбрать наиболее приемлемый вариант.

**Т.Д. Кожина, Д.В. Солодов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## **ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Рынок, а точнее – конкурентная борьба за прибыльный сбыт новой (особенно сложной) продукции вызвали в последнее десятилетие существенные изменения в организации и управлении производством, а также в сфере сбыта. В результате этого сформировались новые тенденции развития промышленного производства, среди которых наиболее значимы следующие: увеличение объемов и разнообразия электронной коммерции, то есть разработок, производства и торговли не только электронными изделиями и материалами, но и информационным продуктом (программным обеспечением, банками информации и др.); возрастание роли информации, предназначенной для всех субъектов рынка, вызвавшее появление и развитие глобальных информационных сетей типа Интернет; возрастание роли компьютерного моделирования разнообразных процессов и углубление на этой основе экономического обоснования новых проектов, а также стремление автоматизировано и эффективно управлять производством на всех стадиях жизненного цикла нового изделия.

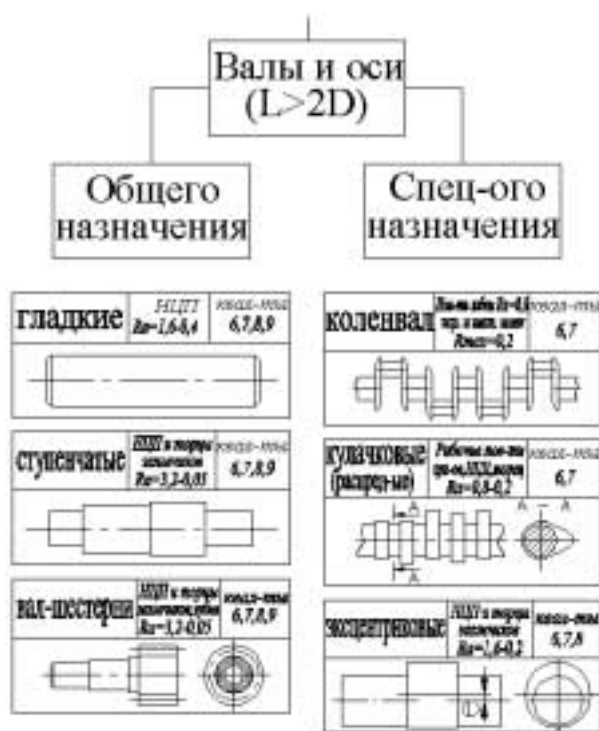
Последнее стало причиной появления за рубежом компьютерных информационных систем управления и обеспечения информацией нового типа, охватывающих весь жизненный цикл изделия и названных CALS-системами. На решение вопросов создания таких систем ориентирована и современная российская наука.

В настоящее время в Рыбинской государственной авиационной технологической академии на кафедре ТАД и ОМ ведутся работы по созданию системы сквозного компьютеризированного проектирования и изготовления авиационной и общемашиностроительной техники (CALS-системы). Особенностью таких систем является интеграция всех необходимых автоматизированных систем проектирования, планирования, управления технологическими процессами и производством, контроля и диагностики, научных исследований и т.д. Выполнению части работ, связанных с решением вопросов создания автоматических систем управления и контроля выходными характеристиками вновь создаваемых машин с целью их использования в разрабатываемой CALS-системе, посвящена эта работа.

Направленность современного машиностроения на увеличение быстроходности машин, их мощности, производительности и точности придает первостепенное значение вопросам обеспечения надежности, долговечности и срока службы машин. Решение этих вопросов основано на улучше-

нии и обеспечении эксплуатационных показателей деталей машин за счет управления технологическими условиями обработки. Необходимые, исходя из служебного назначения, эксплуатационные показатели закладываются на стадии проектирования изделия и при разработке технологического процесса (ТП) на него. Стадия разработки ТП является одним из важнейших и в то же время сложных этапов в процессе обеспечения необходимого уровня качества, поэтому требует внедрения новых методов проектирования, основанных на применении ЭВМ. Так разработана схема автоматизированного проектирования технологического процесса на основе групповых технологий. В основе схемы лежит принцип построения индивидуального ТП на деталь путем выбора необходимых для ее обработки операций из содержащегося в базе данных маршрутного ТП на комплексную деталь группы, представляющую собой как бы собирательный образ, в котором отражены все свойства этой группы.

Необходимые для надежной работы механизма эксплуатационные показатели деталей (износостойкость, усталостная прочность, контактная жесткость и др.) определяются их контактным взаимодействием, в основе которого лежат такие свойства поверхностных слоев, как шероховатость, степень и глубина наклепа, остаточные напряжения и т.д. Также на точную и надежную работу машины в не меньшей степени, чем свойства поверхностных слоев, влияет геометрическая точность базовых поверхностей, которая определяет точность взаимного расположения деталей в узле и узлов в машине, прочность прессовых соединений и т.д. Учитывая вышесказанное, разработан классификатор деталей (на рисунке представлен его фрагмент), содержащий информацию о необходимой точности и шероховатости базовых и рабочих поверхностей деталей. Конечным результатом выполняемой работы должна стать автоматизированная система проектирования ТП, позволяющая быстро, качественно и с минимальными затратами разрабатывать ТП на любую деталь и иметь возможность использования ее в CALS-системах.





**В.А. Козлов, Ф.В. Смирнов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ**

Основные технико-экономические показатели производственного процесса в значительной мере предопределяются технологическими условиями его осуществления. Поэтому правильный, научно обоснованный выбор условий осуществления производственного процесса позволяет повысить общую рентабельность промышленного производства без дополнительных трудовых и материальных затрат.

На основе математического моделирования выходных характеристик процесса резания и их последующей оптимизации (с помощью модернизированного симплекс-метода Нелдера-Мида) авторами разработана комплексная автоматизированная система, позволяющая произвести научно обоснованное определение наиболее рациональных технико-технологических условий осуществления процесса токарной обработки материалов (включая выбор металлорежущего станка, марки инструментального материала и геометрических параметров режущего инструмента, марки используемой СОТС и режимов резания на каждом проходе с рациональной разбивкой снимаемого припуска на эти проходы), обеспечивающих получение экстремального значения требуемого критерия оптимизации технико-экономического характера (себестоимость обработки, производительность труда, расход инструмента на единицу изготавливаемой продукции и др.) при выполнении ограничений, накладываемых на процесс обработки требованиями чертежа (заданные значения точности обработки, шероховатости и наклепа обработанной поверхности, а также остаточных напряжений в этой поверхности).

Производственные испытания, проведенные на ряде промышленных предприятий Ярославской области, показали, что предлагаемая автоматизированная система выбора оптимальных условий осуществления процесса токарной обработки материалов позволяет значительно повысить технико-экономическую эффективность и общую рентабельность производства без дополнительных трудовых и материальных затрат, сократить сроки подготовки производства, уменьшить расход режущего инструмента и затраты на его эксплуатацию, повысить точность и качество изготавливаемой продукции, а также сократить производственный брак наиболее простым, доступным и дешевым в практической реализации способом – путем научно обоснованной оптимизации технологических условий обработки.

Ниже представлены отдельные фрагменты работы предлагаемой автоматизированной системы.

**Выбор критерия оптимизации**

Укажите критерий оптимизации анализируемого процесса резания

Максимальная по размерной стойкости инструмента скорость резания ( $V_0\text{-max}$ )  
 Максимальное количество деталей, обработанных за период стойкости инструмента  
 Минимальная себестоимость технологической операции  
 Максимальная производительность труда на операции  
 Компромиссный критерий (свертка по себестоимости и  $t_{шт}$ ) (поиск минимального значения)

Коэффициент свертки (меньше увеличивает долю себестоимости)

Оптимальная по размерной стойкости инструмента скорость резания ( $V_0$ ) (при фиксированном количестве деталей)

OK

**Операционная карта**

Имя детали	№ детали	Степень сложности	Вид детали
Деталь	47	ВН	Вал
Наименование операции: Токарная			
Критерий оптимизации: себестоимость, коп		Оптимизация: 100,0000	
Маркировка детали: 18018020 (18018020)	Технология: НС 1.00-010	Масса, кг: 14 кг	
Модель станка: 18018020	Марка СОК: МАН-К 35		
Режимы резания		Инструмент	
Поперечный диаметр	Диаметр	Скорость резания	Скорость резания
1	1,0	0,07	8,1365
Марка		М, мм/мин	В, мм/мин
МН		25,71	25,47
Скорость резания		У, мм/мин	Т, мм/мин
		10,08	0,08
		0,40	
Выходные характеристики процесса резания			
Прочность и жесткость инструмента		Скорость обработки (деталь/мин)	
Коэффициент запаса пластической деформации		10,00	
Коэффициент запаса хрупкой прочности (выращивание)		10,00	
Коэффициент запаса хрупкой прочности (окалывание)		10,00	
Коэффициент запаса прочности державки инструмента (излом)		10,00	
Коэффициент запаса прочности державки инструмента (не менее)		2,00	
Допустимая стрела прогиба инструмента (мм) (не более)		0,05	
Допуск на размер обработанной поверхности ( $T_d$ , мкм) (не более)		0,500	
Коэффициент динамической устойчивости (не менее)		2,0	
Кол-во обработанных заготовок за период стойкости инструмента (не менее)		1	
<input checked="" type="checkbox"/> Наклеп <input type="text" value="40.0"/> < Глубина < <input type="text" value="300.0"/> <input type="text" value="20.0"/> < Степень < <input type="text" value="50.0"/>			
Максимальная скорость резания, м/мин		9,77	
Количество обработанных деталей за период стойкости		3,83	
Скорость обработки (деталь/мин)		100,00	

**Выбор технологических ограничений**

Прочность и жесткость инструмента  
 Коэффициент запаса пластической деформации  
 Коэффициент запаса хрупкой прочности (выращивание)  
 Коэффициент запаса хрупкой прочности (окалывание)  
 Коэффициент запаса прочности державки инструмента (излом)  
 Допустимая стрела прогиба инструмента (мм) (не более)

Шероховатость  
 Остаточные напряжения

Наклеп

OK     Отмена     Справка

**В.А. Козлов, Ф.В. Смирнов, Ю.В. Емельянов**

*Россия, г. Рыбинск, РГАТА*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАДИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

Для решения различных производственных задач, связанных с повышением качества изготавливаемой продукции и рентабельности отечественного машиностроения инженерно-технические работники промышленных предприятий должны иметь достоверную, хорошо подтверждаемую экспериментальными данными информацию о температурно-силовых, контактных, стойкостных, технико-экономических и других выходных показателях анализируемых процессов механической обработки материалов.

На основе проведенного математического моделирования физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процесс резания, авторами разработаны подобного рода функциональные зависимости, позволяющие на стадии технологической подготовки производства определить расчетным путем точность обработки и основные характеристики качества поверхностного слоя (шероховатость, наклеп, остаточные напряжения), формируемого при несвободном прямоугольном и косоугольном точении материалов как острозаточенным, так и изношенным инструментом. Данные нелинейные зависимости критериального вида учитывают взаимосвязь и взаимовлияние переменных технологических условий обработки, учитывают свойства обрабатываемых и инструментальных материалов, геометрические параметры используемого инструмента (включая линейные размеры режущей пластинки, а также державки инструмента и его вылет из резцедержателя), марку используемой СОТС, тип и скорость ее подвода в зону резания (а также расход в единицу времени), режимные условия обработки, размеры обрабатываемой заготовки и тип ее закрепления на станке, размеры обрабатываемого участка и его расположение на обрабатываемой заготовке, жесткость элементов металлорежущего оборудования и всей технологической системы СПИЗ.

Используя указанные аналитические зависимости в качестве базового математического обеспечения, разработана автоматизированная система для расчетного определения точности обработки и характеристик качества поверхностного слоя изготавливаемой продукции (с графическим их представлением) в зависимости от анализируемых технологических условий обработки (включая оптимальные по размерной стойкости инструмента

режимы резания:  $V_o$ ,  $s$ ,  $t$  и др.) с учетом возможного поля их рассеивания в оговоренных пределах.

Указанная автоматизированная система, прошедшая успешные производственные испытания на ряде машиностроительных предприятий Ярославской области, позволяет сократить трудоемкость проектных работ на этапе подготовки производства новой продукции и модернизации существующей, а также целенаправленно повысить точность обработки и качество поверхностного слоя изготавливаемой продукции путем научно обоснованного выбора наиболее рациональных технологических условий обработки.

Отдельные фрагменты работы данной системы представлены ниже.

Характеристики точности и качества

Условия:  
Точение: ХН73МБТЮ (ЗМ698ВД) - ВК8 - Угрилол-1 5%  
Станок: 16К20ФЗ  $V_o = 0,3044$  м/с;  $Skr1 = 0,05069$  мм/об;  $Skr2 = 0,1199$  мм/об

Таблица результатов:

$V$ м/с	$S$ мм/об	$t$ мм	$Rz$ нм	$Ra$ нм	$\Delta$ нм	$ln$ нм	$Nc$ %	$\sigma_t$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_o$ Н/мм <sup>2</sup>
0,05	0,2	1	6,166	1,592	0,0696	98,57	36,79	164	24,46
0,1	0,2	1	5,445	1,393	0,0605	87,04	32,48	287	62,02
0,15	0,2	1	5,063	1,288	0,0557	80,94	30,21	399	106,9
0,2	0,2	1	4,808	1,219	0,0525	76,86	28,69	504	157,2
0,25	0,2	1	4,619	1,167	0,0501	73,85	27,56	604	212,1
0,3	0,2	1	4,471	1,127	0,0483	71,47	26,67	701	270,9
0,35	0,2	1	4,406	1,131	0,0471	72,15	26,93	719	281,2
0,4	0,2	1	4,513	1,138	0,0462	73,02	27,25	728	285,6

Закрыть ? Помощь

*Определение точности обработки и характеристик качества поверхностного слоя, формируемого при точении материала на произвольных режимах резания*

*Определение точности обработки и характеристик качества поверхностного слоя, формируемого при точении материала на оптимальных по размерной стойкости инструмента режимах резания*

Условия:  
Точение: ХН73МБТЮ (ЗМ698ВД) - ВК8 - Угрилол-1 5%  
Станок: 16К20ФЗ  $Skr1 = 0,05144$  мм/об;  $Skr2 = 0,1199$  мм/об

Таблица результатов:

$V_o$ м/с	$S$ мм/об	$t$ мм	$Rz$ нм	$Ra$ нм	$\Delta$ нм	$ln$ нм	$Nc$ %	$\sigma_t$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_o$ Н/мм <sup>2</sup>
0,5327	0,05	1	1,858	0,445	0,0317	113,5	42,35	813	365,2
0,4045	0,1	1	1,802	0,445	0,0388	98,24	33,68	765	324,5
0,3429	0,15	1	2,555	0,6604	0,044	78,66	29,36	734	297,3
0,3044	0,2	1	4,458	1,218	0,0481	71,26	26,6	710	276,8
0,2772	0,25	1	6,866	1,958	0,0517	65,95	24,61	690	268,3
0,2566	0,3	1	9,771	2,888	0,0549	61,87	23,89	674	246,5
0,2403	0,35	1	13,17	4,089	0,0578	58,6	21,87	660	234,6
0,2269	0,4	1	17,05	5,327	0,0605	55,89	20,86	648	224,1

Закрыть ? Помощь

**Е.Н. Лапшин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННОЙ КАВЕРНЫ НА ПРОЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Одной из более распространенных причин преждевременного, нередко аварийного выхода из строя инженерных конструкций, машин, аппаратов является воздействие различных агрессивных сред. Агрессивные среды, действуя на поверхность конструкции, проникая в объем конструктивных элементов, изменяют механические свойства материалов, приводя, в итоге, к снижению несущей способности и сокращению долговечности конструкции [1]. В данной статье будет рассматриваться влияние коррозии на прочность трубопроводов, в частности на прочность газопроводов (ГП).

Значительное количество повреждений ГП возникает из-за коррозионного воздействия грунта или блуждающих токов. Активные коррозионные процессы протекают в местах нарушения изоляции ГП. Нарушения изоляции являются следствием случайных дефектов, которые наблюдаются при ее нанесении, транспортировании труб, их укладке в траншею [2].

Вследствие выше сказанного, были проведены теоретические исследования влияния коррозионной каверны на прочность трубопровода. Для этого была создана модель трубопровода с коррозионной каверной для программы метода конечных элементов COSMOS/M.

Метод конечных элементов (МКЭ) является современным и широко распространенным средством математического моделирования в технике и в физике. При правильном использовании МКЭ может достаточно точно предсказать поведение моделируемого объекта и тем самым уменьшить затраты на создание надежных конструкций [3].

В процессе изменения различных параметров определялась степень влияния того или иного параметра на снижение локальной прочности ГП. Основными параметрами, изменяемыми в процессе исследования были: номинальная толщина стенки ГП, остаточная толщина стенки в месте повреждения, диаметр ГП, внутреннее давление, размеры коррозионной каверны. В ходе выполнения исследований была получена эмпирическая зависимость максимального эквивалентного напряжения, которое возникает в центре каверны, по энергетической теории прочности от выше указанных факторов:

$$\sigma = \frac{p \cdot D}{\delta_0} \cdot \left( s - \frac{\delta}{\delta_0} \right), \quad (1)$$

где  $\sigma$  – максимального эквивалентного напряжения, МПа;  $D$  – диаметр трубопровода, м;  $p$  – внутреннее давление, МПа;  $\delta_0$  – толщина стенки трубопровода, м;  $s = f(d, D)$  – эмпирический коэффициент;  $\delta$  – остаточная толщина стенки трубопровода, м;  $d$  – размер каверны (диаметр), м.

Рассматривая прямолинейный участок трубопровода, продольные и поперечные деформации, которого не стеснены какими либо связями, и принимая во внимание малую (по сравнению с диаметрами труб) толщину их стенки, можно определить напряжения, возникающие в сечении трубы по выражениям [4]:

$$\sigma_0 = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \delta_0}. \quad (2)$$

Введем обозначение:

$$\left( s - \frac{\delta}{\delta_0} \right) = \frac{1+k}{2}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент снижения локальной прочности.

Подставив выражение (3) в (1) получим:

$$\sigma = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \delta_0} \cdot (1+k). \quad (4)$$

Нетрудно заметить, что коэффициент  $k = f(d, D, \delta, \delta_0)$ , и для каждого конкретного случая имеет определенное значение. Исходя из условия прочности

$$\sigma \leq R, \quad (5)$$

легко выразить из (1) значение  $\delta$

$$\delta \geq \left( s - \frac{R \cdot \delta_0}{p \cdot D} \right) \cdot \delta_0, \quad (6)$$

подставив выражение (2) в (6), окончательно получим:

$$\delta \geq \left( s - \frac{R}{2 \cdot \sigma_0} \right) \cdot \delta_0. \quad (7)$$

Таким образом, выражение (7) позволяет дифференцированно подходить к коррозионным кавернам, исходя из условий работы трубопровода и размеров коррозионного повреждения, принимая в каждом конкретном случае определенное решение о замене или о продолжении эксплуатации поврежденного участка трубопровода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Г., Хадеев В.М. Расчет конструкций подверженных коррозионному износу. – Иваново: ИИСИ, 1991. – 102 с.
2. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 167 с.

3. Петров В.Б. Расчет деталей двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1999. – 40 с.
4. Тартаковский Г.А. Строительная механика трубопроводов. – М.: Недра, 1967.

**В.А. Милаев, А.А. Фаткин, Т.В. Рулева**

*г. Ковров, Филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева – КБ «Арматура»*

### **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ НА СРОК ЗАПУСКА ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В условиях макроэкономической нестабильности, колебания спроса и ассортимента, а также необходимости перехода изготовления под заказ, важна роль информационных технологий, особенно на этапе технической подготовки производства (ТПП), качество и полнота которой в конечном итоге определяют эффективность планирования и управления.

На сегодняшний день на рынке представлено значительное количество программных продуктов, основанных на ERP-стандартах. Безусловно, внедрение этих систем на предприятии повысит эффективность управления процессом производства. Тем не менее, это требует дополнительных организационных усилий предприятия по формированию определенной технической базы, подготовке кадрового персонала, пересмотру структуры управления, а также по адаптации данного программного обеспечения (ПО) к уже устоявшимся традициям, не говоря уже о высокой стоимости данного ПО.

Было бы нелепо сравнивать возможности этих систем с собственными разработками ПО предприятия. В то же время последние снимают вышеперечисленные проблемы.

В условиях позаказного производства роль информационных технологий (ИТ) приобретает особую ценность. Новизна и сложность заказа, с одной стороны, и сжатые сроки его изготовления с другой, определяют необходимость оптимизации работ на этапе ТПП.

Схема выполнения работ на этапе ТПП заключается в формировании и ведении информационного массива базы данных (БД) всей номенклатуры изделий, поддержки состава изделия с обязательной формализацией данных, которая заключается в разработке универсальной системы классификации и кодирования стандартных единиц производства, и актуализации данного массива на этапе конструкторской подготовки производства (КПП). А также формирование и ведение БД по материальным нормативам, пооперационно-трудовым нормативам, маршруту изготовления, сред-

ствам технологического оснащения (СТО) на каждую номенклатурную единицу и обязательная актуализация данного массива на этапе технологической подготовки производства.

Реализация такого подхода к выполнению работ на этапе ТПП обеспечивает эффективное и оперативное решение комплекса задач, таких как:

- формирование ведомости материалов (ВМ);
- расчет потребностей в материальных ресурсах;
- расчет потребностей в трудовых ресурсах;
- расчет потребностей в оборудовании, оснастке, инструменте.

ВМ является основным технологическим документом, регламентирующим процесс изготовления заказа от запуска в производство до сдачи готовой продукции на склад. Являясь многофункциональным документом, ВМ содержит информацию по структуре заказа (составе изделия), материальным нормативам, дополнительным технологическим образцам, маршруту изготовления и выполняет функцию комплекточной ведомости.

Структурой документа предусматривается группировка одинаковых номенклатурных единиц с разной входимостью.

Если говорить о заказе, то традиционная схема запуска его в производство проиллюстрирована на рисунке.

В этой схеме можно выделить следующие этапы:

- преддоговорная стадия, где обсуждается целесообразность данного заказа;
- разработка конструкторской документации (КД);
- разработка технологической документации (ТД) (формирование ВМ);
- изготовление заказа.

Рассмотрим подробнее этап изготовления заказа при соблюдении вышеизложенной последовательности работ. На изготовление заказа накладываются следующие ограничения: срок поставки изделия, номинальная производственная мощность, наличие готовых КД и ТД.

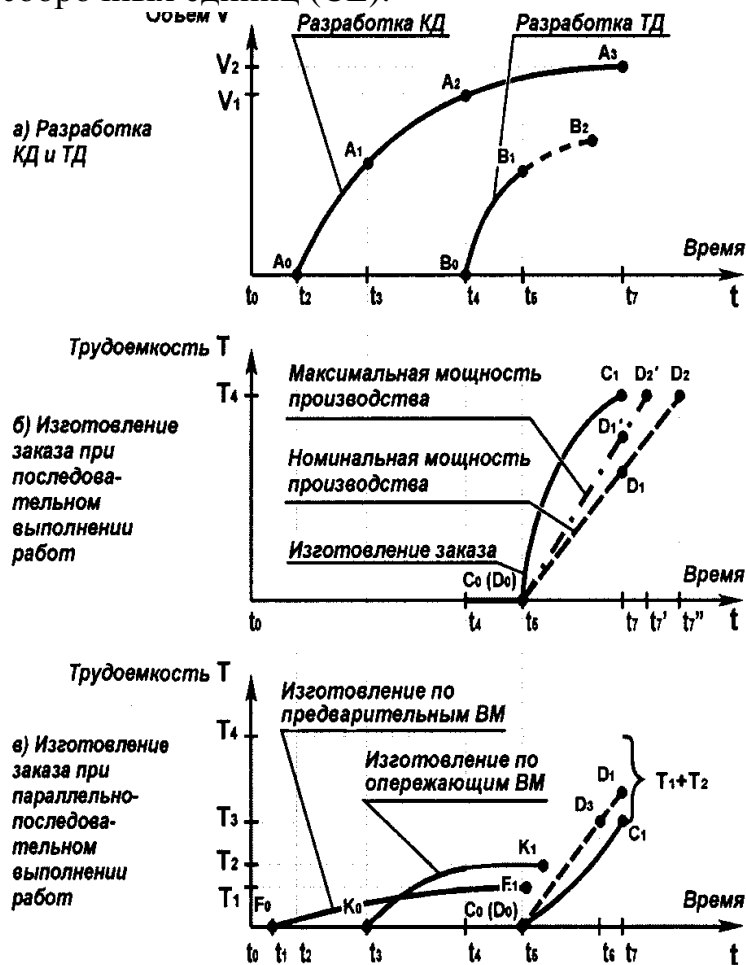
Изготовление больших систем (заказов) с учетом перечисленных ограничений порой бывает невозможно.

Выход из данной ситуации связан либо с продлением срока поставки, что является нарушением договорной дисциплины, либо с привлечением дополнительной производственной мощности (работа в выходные и сверхурочные), что повышает стоимость одного нормо-часа.

Предлагаемый подход к решению данной проблемы заключается в параллельно-последовательном выполнении работ на этапе ТПП. А именно, в формировании комплекта ВМ с использованием идеологии предварительного и опережающего запуска. В ВМ предварительного запуска предлага-



ется включать комплектующие, которые могли бы иметь спрос даже при возможной отмене заказа и одновременно являлись необходимыми при комплектации сборочных единиц (СЕ).



Влияние качества ТПП на срок изготовления заказа

В ведомость материалов опережающего запуска предлагается включать деталесборочные единицы (ДСЕ), имеющие длительный цикл изготовления, а также типовые структурные элементы (каркасы, трубопроводы). Ведомость предварительного запуска допускается формировать автономно от заказа, ведомость же опережающего запуска – с готовностью рабочей КД на выделенные структурные элементы.

ДСЕ, не вошедшие в состав ВМ предварительного и опережающего запусков, изготавливаются по основной ведомости материалов. Применяя такую идеологию, мы равномерно распределяем трудоемкость изготовления заказа, в результате чего остается резерв производственной ведомости и появляется возможность изготовления заказа досрочно, что является показателем эффективности деятельности предприятия.

**В.В. Морозов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ**

Приоритетным направлением технологии производства изделий машиностроительного профиля представляется направление по созданию средств и методов автоматизации управления производством. Создание сложных изделий машиностроения сегодня немыслимо без обеспечения информационной поддержки изделий на всех стадиях жизненного цикла. Информационная поддержка – это целый комплекс вопросов по автоматизации процессов проектирования и технологической подготовки производства, автоматизации управленческой деятельности предприятий, создание электронной эксплуатационной документации, внедрение автоматизированных систем заказа и сбыта через Internet и т.д.

Идеальной основой для решения поставленной задачи является применение CALS-технологии, основанной на использовании единой интегрированной модели продукта и его жизненного цикла, описывающей объект настолько полно, что выступает в роли единого источника информации для любых выполняемых в ходе жизненного цикла процессов. CALS-технологии представляют собой современную организацию процессов разработки, производства, эксплуатации и послепродажного сервиса изделий путем информационной поддержки процессов их жизненного цикла на основе стандартизации методов представления данных на каждой стадии жизненного цикла и электронного обмена данными. Концепция CALS определяет набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное взаимодействие участников процессов проектирования, производства, испытаний и т.д.

Внедрение CALS-технологий в производство позволяет обеспечить поддержку всех стадий жизненного цикла изделия на базе системы автоматизированного проектирования в соответствии с международными стандартами ISO и STEP, сократить сроки проектирования в 5...10 раз за счет реализации технологии параллельной разработки.

Учитывая преимущества новых электронных технологий, в западных странах уделяется исключительное внимание их развитию. Важно отметить, что за последний год появился целый ряд российских предприятий, которые активно занимаются применением CALS-технологий для решения конкретных производственных задач. На ряде предприятий разработаны долгосрочные программы развития CALS-технологий как средства карди-

нального решения проблемы повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой наукоемкой продукции.

Можно выделить три этапа по автоматизации деятельности предприятий: оснащение системами автоматизированного проектирования, анализа и технологической подготовки (CAD/CAM/CAE-системы); внедрение систем управления инженерными данными (PDM-системы); внедрение систем управления ресурсами предприятия (ERP-системы).

Наш опыт работы с машиностроительными предприятиями области и опыт подготовки специалистов для этих предприятий подтверждает указанную тенденцию. Сначала предприятие приобретает одно-два места CAD/CAM-системы для автоматизации наиболее трудоемких или ответственных этапов проектирования или изготовления (причем иногда разные подразделения приобретают системы независимо и несогласованно). Затем, когда число рабочих мест увеличивается до определенной критической массы (от 20 до 30 мест), требуется автоматизация и регламентация ведения проектов по нескольким подразделениям с поддержкой сетевых баз данных – предприятие устанавливает PDM-систему. Наконец, при увеличении числа мест до нескольких сотен возникает необходимость в автоматизации и унификации деятельности предприятия на базе ERP-системы.

Системы управления производственной информацией (Product Data Management – PDM) – это инструментальное средство, которое помогает администраторам, конструкторам, инженерам, технологам и другим специалистам управлять как данными, так и процессами разработки изделия на современном производственном предприятии. Системы PDM следят за большими, постоянно обновляющимися массивами данных и инженерно-технической информации, необходимыми на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержки эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий. Наряду с данными, PDM управляет и проектом – процессом разработки изделия, контролируя собственно информацию об изделии, о состоянии объектов данных, об утверждении вносимых изменений, осуществляя авторизацию и другие операции, которые влияют на данные об изделии и режимы доступа к ним каждого конкретного пользователя.

Системы управления ресурсами предприятия (Enterprise Resource Planning – ERP) предназначены для управления финансовой и хозяйственной деятельностью предприятий. Это «верхний уровень» в иерархии систем управления предприятием, затрагивающий ключевые аспекты его производственной и коммерческой деятельности, такие как производство, планирование, финансы и бухгалтерия, материально-техническое снабжение и управление кадрами, сбыт, управление запасами, ведение заказов на изготовление (поставку) продукции и предоставление услуг. Такие систе-

мы создаются для предоставления руководству информации для принятия управленческих решений, а также для создания инфраструктуры электронного обмена данными предприятия с поставщиками и потребителями.

До недавнего времени системы PDM и ERP были слабо связаны друг с другом, решая различные задачи. Однако, тенденции к интеграции производственных и хозяйственных задач не только внутри предприятия, но и в распределенных Интернет-корпорациях привели к появлению нового класса систем – систем поддержки продукции в масштабе предприятия (Enterprise Product Modeling – EPM). EPM-система является Интернет-ориентированной архитектурой, интегрирующей набор различных приложений в единую сетевую структуру и обеспечивающей управление данными и документацией в процессе их разработки и дальнейшего использования. Фокусируясь на информационной поддержке всех фаз жизненного цикла продукции – от концепции и проектно-конструкторских этапов до изготовления, обслуживания и утилизации – система обеспечивает надежное управление информационными процессами, повышение качества продукции и уменьшение времени выхода продукции на рынок за счет гибкой модели данных (т.н. федеративной платформы), обеспечивающей полную информационную интеграцию разработчиков, поставщиков и заказчиков. Именно на базе EPM-системы и возможно создание полнофункциональной CALS-технологии производства машиностроительной продукции.

С целью обучения современным системам автоматизации машиностроительного производства во Владимирском государственном университете в 1997 г. создан Учебно-научный центр новых инженерных технологий (УНЦ НИТ). Центр проводит обучение студентов и инженерных кадров в области машиностроения методам сквозного проектирования и создания полного производственного цикла, проводит НИР по заказам предприятий с применением современных САПР. Обучение проводится на базе линейки программных продуктов от Pro/ENGINEER и Pro/MECHANICA до Pro/INTRALINK и Windchill, составляющих весь спектр систем автоматизации «CAD/CAM/CAE – PDM – EPM».

Трехлетний опыт обучения в УНЦ НИТ доказал актуальность и перспективность внедрения новых форм и методик, востребованность выпускников, владеющих современными методами автоматизации. Сотрудничество с такими предприятиями как ООО «Завод Автоприбор», ОАО «Владимирский электромоторный завод», ОАО «Стекольный завод Красное эхо», ВПО «Точмаш» показало, что успешное внедрение САПР основано не на стихийном привлечении систем компьютерного проектирования, а на продуманной планомерной политике создания сквозной, прозрачной системы управления качеством, при которой автоматизация проектирования подчинена задаче тотальной поддержки продукта на любом этапе жизнен-

ного цикла. Кроме того, опыт применения современных информационных технологий при создании новой наукоемкой продукции свидетельствует о качественно новых возможностях и методах проектирования.

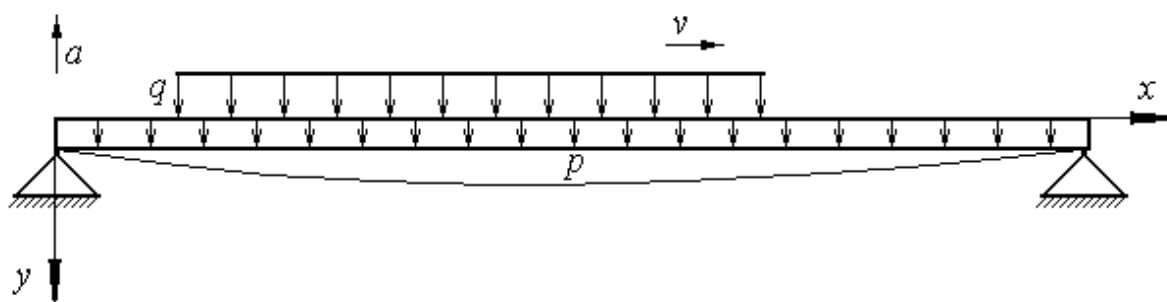
**Е.А. Оленев, С.Н. Марычев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

Для реализации автоматического управления энергопотенциальным ускорителем необходимо определить массу вагона в процессе движения его по ферме до момента начала сообщения ему необходимой потенциальной энергии [1, 2].

Рассмотрим задачу определения массы вагона в процессе его движения. Представим вагон в виде распределенной нагрузки  $q$ , движущейся по ферме со скоростью  $v$ . В результате действия силы инерции при подъеме, а также вследствие кривизны траектории движения, вызываемой прогибом фермы, сила действия вагона на балку не равна его весу (см. рисунок).



*Схема движения вагона по энергопотенциальному ускорителю*

Кроме того, возмущение, возникающее при подъеме, будет способствовать изменению изогнутой оси фермы во времени, а также зависеть от пройденного вагоном пути.

$$y = y(x, t), \tag{1}$$

где  $x$  – координата элементов вагона;  $t$  – время.

Интенсивность сил инерции фермы можно определить через частную производную [3]

$$r_p = -\frac{p}{g} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \tag{2}$$

где  $p$  – интенсивность собственного веса фермы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $y$  – прогиб фермы, т.е. ордината траектории движения элемента вагона.

Поскольку координата  $x$  зависит от времени и скорости

$$x = vt, \quad (3)$$

( $v$  – скорость перемещения вагона по ферме), то проекция скорости элемента вагона на ось  $y$  равна полной производной

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} \frac{dx}{dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} v. \quad (4)$$

Тогда вертикальное ускорение элемента вагона будет иметь вид

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial y}{\partial t} \right) + \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial y}{\partial x} v \right). \quad (5)$$

Первое слагаемое

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial y}{\partial t} \right) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x} \frac{dx}{dt} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x} v. \quad (6)$$

Второе слагаемое

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial y}{\partial x} v \right) = \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} v + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \frac{dx}{dt} v = \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} v + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} v^2. \quad (7)$$

Следовательно, ускорение будет иметь вид

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + 2v \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} v^2. \quad (8)$$

Поэтому интенсивность сил инерции вагона запишется

$$r_q = -\frac{q}{g} \left( \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + 2v \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} v^2 \right), \quad (9)$$

где  $q$  – интенсивность веса вагона.

При подъеме фермы с вагоном на них будет действовать сила инерции

$$r_{qp} = -\frac{q+p}{g} a, \quad (10)$$

где  $a$  – ускорение фермы с вагоном при подъеме.

Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки запишется

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = -\frac{p}{g} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{q}{g} \left( \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + 2v \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} v^2 \right) - \frac{q+p}{g} a, \quad (11)$$

где  $EJ$  – жесткость фермы.

Обозначив:

$$b = \frac{p+q}{EJg}; \quad c = \frac{2qv}{EJg}; \quad e = \frac{gv^2}{EJg}; \quad h = \frac{p+q}{EJg} a,$$

преобразуем выражение (11)

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + b \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + e \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + h = 0 \quad (12)$$

Таким образом, данное уравнение позволяет учесть действие инерционных сил на ферму при работе энергопотенциального ускорителя и с их учетом определить массу движущегося вагона. Взвешивание вагона производится одновременно с сообщением ему необходимой потенциальной энергии, а поэтому не требует дополнительных затрат энергии в отличие от существующих весомеров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Оленев Е.А., Марычев С.Н. Способ сортировки вагонов / Заявка 2001100514 от 05.01.2001 г.
2. Оленев Е.А. Автоматическая система для формирования грузовых железнодорожных составов // Современные информационные технологии в образовательном процессе и научных исследованиях: Сб. статей междунар. конф. – Шуя: Весть, 2000.
3. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. – М.: Наука, 1979.

**А.Н. Соколов, О.Е. Соколова, Т.В. Рулева.**

*Россия, г. Ковров, Филиал ГКНППЦ им. М.В. Хруничева – КБ «Арматура»*

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТАНДАРТНЫХ ДСЕ, ПКИ, МАТЕРИАЛОВ – ОСНОВА СТАНДАРТИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К СТРУКТУРЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

В условиях макроэкономической нестабильности, колебания спроса и ассортимента, а также необходимости перехода изготовления под заказ, важна роль информационных технологий, особенно на этапе технической подготовки производства (ТПП), качество и полнота которой в конечном итоге определяет эффективность планирования и управления. Традиционная схема выполнения работ на этапе ТПП представлена на рис. 1.

Процессу формализации (кодирования) в условиях единичного производства отводится одно из ведущих мест на этапе технической подготовки производства. Это связано с трудоемкостью данного процесса, обусловленной особенностями единичного производства. К ним можно отнести: соблюдение технической дисциплины; сжатые сроки изготовления, в т.ч. подготовки производства, отсутствие нормативной базы (библиотеки кодов), обусловленное часто меняющейся номенклатурой заказов. Решить проблему формализации данных при таких ограничениях можно только за счет оптимизации работ на данном этапе.

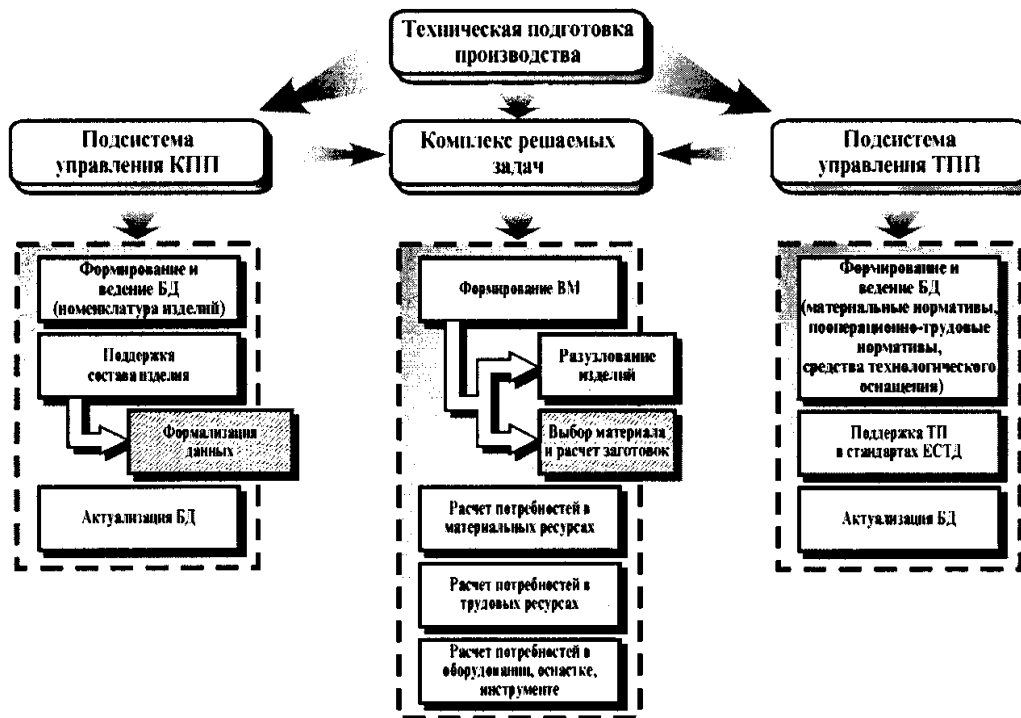


Рис. 1. Схема выполнения работ на этапе ТПП

Анализ процесса кодирования стандартных единиц производства (стандартных ДСЕ, ПКИ, материалов) показал, что в основу наиболее эффективного и перспективного средства оптимизации необходимо заложить моделирование системы. А так как объект кодирования или обозначение стандартных единиц производства регламентируется нормативной документацией (НД), то предметную область модели составляют все нормативные документы, действующие на предприятии и регулирующие качество соответствующей продукции на всех этапах жизненного цикла.

Методологическая платформа модели заключается в представлении информации НД в виде набора параметров, присутствующих в условном обозначении стандартных единиц производства, с закреплением за каждым параметром своего индивидуального места в этой последовательности.

Предлагается такую последовательность определить как формулу обозначения и представить в виде:

$$\Phi_{об_j} = \left[ \begin{matrix} n \\ \varphi B_{iz} \\ i=1 \end{matrix} \right]_j,$$

где  $j$  – порядковый номер НД;  $\varphi$  – последовательность;  $B$  – параметр;  $i$  – порядковый номер параметра;  $z$  – шаг нумерации параметров;  $n$  – количество параметров.

Каждый элемент формулы обозначения (параметр) обладает набором свойств: наименованием, порядковым номером, диапазоном допустимых



значений, а также нормативными ссылками, соответствующими структуре стандарта. Графическое изображение параметра представлено на рис. 2.

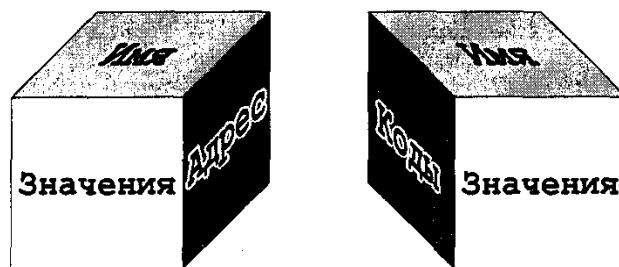


Рис. 2. Графическое изображение параметра

Графически каждая грань описывает группу свойств. Верхняя грань – имя параметра (номер, наименование, тип). Передняя грань – группа значений параметра. Правая грань – адрес параметра (нормативные ссылки). Левая грань – группа кодов значений параметра.

Связь между НД, как объектами модели, осуществляется посредством нормативных ссылок. Организация ссылок с параметра одного НД на параметр этого же или другого НД можно считать самым распространенным способом организации ссылок. В этом случае в качестве значений исследуемого параметра используются значения ссылочного. Менее распространен способ организации ссылки с параметра одного НД на несколько параметров разных НД. Параметры ссылочных ГОСТов равноценны, и использование какого-либо из них для замены исследуемого определяется ограничениями, накладываемыми на допустимые сочетания значений исследуемого параметра и других параметров формулы обозначения. В остальных случаях значение исследуемого параметра является составным из значений ссылочных параметров.

Таким образом, в электронном архиве системы стандарт будет храниться в виртуальном виде, то есть представлять собой последовательность параметров, присутствующих в условном обозначении стандартной единицы производства, регламентированной данным стандартом. Набор параметров строго соответствует условному обозначению данной стандартной единицы, но значения параметров могут храниться в ссылочных НД, если таковые имеются.

Результатом построения системы является решение проблемы формализации данных по стандартным единицам производства, а именно, автоматизированное кодирование.

Располагая информацией о структуре (наборе параметров) условного обозначения стандартной единицы и о порядке следования этих параметров в коде, ПЭВМ распознает и упорядочивает запись в соответствии с формулой кодирования

$$\Phi_{ок} = \prod_{i=1}^n [X(N)]_{iz},$$

где  $X$  – десятичный цифровой разряд кодового обозначения;  $N$  – число разрядов кодового обозначения (длина кода);  $[X(N)]_{i0}$  – однозначные коды значений параметров в  $\Phi_{ок}$ .

Полный цифровой код обозначения стандартной единицы производства автоматически составляется из однозначных кодов значений параметров в соответствии с установленным порядком в  $\Phi_{ок}$ .

Параллельно с процессом кодирования ПЭВМ осуществляется контроль над корректностью написания обозначения.

Таким образом, предлагаемый подход к организации массива обеспечивает эффективное решение задачи формализации данных на этапе ТПП, интеграцию данных по стандартным единицам производства и преемственность информации на всех этапах жизненного цикла продукции, а также позволит сократить сроки создания и стоимость выпускаемой продукции.

Внедрение системы на уровне Госстандарта предоставило бы возможность пользователям осуществлять оперативный доступ к актуализированной информации и развивать прикладные проекты.

**И.П. Шейн**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **РАЗРАБОТКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРОАКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ**

Виброактивность различных видов зубчатых механизмов хорошо изучена, её расчету посвящена обширная литература. Изучению же вибрационных процессов в передачах типа винт-гайка, широко используемых в различном оборудовании, не было уделено достаточного внимания. Имеющаяся литература по этому вопросу носит описательный или экспериментальный характер.

Применение зубчато-винтовых механизмов (ЗВМ) в различных технологических приводах приводит к исследованию, в том числе, и виброактивности этих исполнительных механизмов, т.к. отсутствие результатов таких исследований не дает полной картины динамических процессов при работе привода.

Необходимость создания и проектирования электромеханических приводов с низкой виброактивностью вызвана тем, что высокая виброактивность привода вызывает шумность и колебания конструкции в процессе

эксплуатации, которые зачастую вообще недопустимы. Дополнительные динамические нагрузки, возникающие в результате вибраций, приводят к повышению напряжений, износу механизмов, снижению плавности работы привода, а, в конечном счете, к снижению надежности и долговечности электромеханической системы.

Исследование виброактивности включает задачи идентификации источников вибраций в механизме, определения частотных спектров возмущающих сил и спектра собственных частот вибраций элементов. Основными источниками вибрации, являются возмущающие силы, вызванные дефектами механической обработки: овальностью, гранностью, волнистостью рабочих поверхностей резьбовых элементов. Определение частотных спектров возмущающих сил в зависимости от точности изготовления и особенностей конструкции основано на результатах многолетних экспериментальных исследований и достаточно подробно изучено. Определение спектра собственных частот позволит еще на стадии проектирования принять конструктивные мероприятия по отстройке от резонансных режимов и при необходимости произвести «разрядку» частотного спектра возмущающих сил.

Расчетная модель ЗВМ зависит от конструктивного исполнения, т.к. источники вибрации, отсутствующие в одном виде механизмов, могут стать определяющими в другом. Поэтому, в зависимости от соотношения масс, формы, расположения отдельных элементов ЗВМ, их модели могут быть существенно разными. Необходимо рассмотреть следующие основные схемы ЗВМ:

В механизмах, где массы всех элементов соизмеримы друг с другом, а их перемещения также соизмеримы между собой, звенья механизма могут описываться дискретными массами связанными упругими связями. Движение такой системы описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

В ЗВМ, где масса и размеры винта значительно отличаются от остальных элементов, при этом ход винта может иметь большую длину, винты должны рассматриваться, как системы с распределенными параметрами. При достаточно больших частотах вращения становится целесообразным рассматривать и другие элементы ЗВМ, как звенья с распределенными массами.

Поэтому для исследования виброактивности привода предлагается модель с распределенными массами, основанная на решении системы неоднородных волновых уравнений в сплошной среде, где число уравнений соответствует числу элементов конструкции. Неоднородная часть каждого из уравнений представляет собой разложение в ряд Фурье вынуждающих сил, действующих на элемент. Каждое уравнение системы описывает рас-

пространение колебаний в элементе системы, а общее решение «сшивается» из частных решений с учетом краевых условий (совместности решений на границах и перенос колебаний с учетом податливостей и диссипации).

Решение этой задачи, требующей значительных затрат вычислительных ресурсов, сдерживалось отсутствием как должных вычислительных средств, так и адекватного программного обеспечения. Поставленная задача может быть решена методом конечных элементов с применением пакета Pro/MECHANICA. Для решения необходимо создать твердотельную модель сборки привода, задать действия вынуждающих сил и условия связи решений на границах. Решение позволяет получить спектр и формы колебаний для каждой детали, а также изменение спектра под действием нестационарных возмущающих сил и при переходных процессах.

**И.П. Шейн, О.В. Козлов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРЕСС-ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ PRO/ENGINEER**

При проектировании пресс-формы вначале проводится анализ исходных данных на предприятии, где будет изготавливаться изделие. Далее условно задавшись маркой термопластавтомата рассчитываем число гнезд формы. Расчет гнездности ведется с учетом объема впрыска материала, усилия смыкания, пластификационной производительностью и геометрических размеров плит автомата.

Гнездность, обусловленная объемом впрыска термопластавтомата, рассчитывается по формуле

$$n_a = \beta_1 Q_n / (Q_{\text{и}} R_1),$$

где  $\beta_1$  – коэффициент использования машины (0,7...0,8);  $Q_n$  – номинальный объем впрыска термопластавтомата;  $Q_{\text{и}}$  – объем одного изделия;  $R_1$  – коэффициент, учитывающий объем литниковой системы.

Гнездность, обусловленная пластификационной производительностью термопластавтомата, считается как

$$n_a = A_n \beta_2 \tau_{\text{охл}} / (3,6 R_1 G_{\text{и}}),$$

где  $A_n$  – номинальная пластификационная производительность термопластавтомата;  $\beta_2$  – коэффициент, учитывающий отношение пластификационной производительности по данному материалу к полистиролу;  $G_{\text{и}}$  – масса изделия;  $\tau_{\text{охл}}$  – время охлаждения изделия, рассчитываемое по формуле:

$$\tau_{\text{охл}} = \frac{0,405}{a} \left( \frac{\delta}{2} \right)^2 \left( \ln 1,27 - \ln \frac{t_k - t_{\text{cp}}}{t_n - t_{\text{cp}}} \right),$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности;  $\delta$  – толщина изделия.

Гнездность, обусловленная усилием смыкания плит термопластавтомата, определяется по формуле

$$n_p = 10P_{нт} / (qF_{пр} R_2 R_3),$$

где  $P_{нт}$  – номинальное усилие смыкания плит термопластавтомата;  $q$  – давление пластмассы в оформляющем гнезде;  $F_{пр}$  – площадь проекции изделия на плоскость разъема;  $R_2$  – коэффициент, учитывающий площадь литниковой системы;  $R_3$  – коэффициент, учитывающий использование максимального усилия смыкания.

Далее в системе автоматизированного проектирования Pro/ENGINEER набирается твердотельная модель изделия, которое нужно отлить, определяются литейные радиусы и уклоны. В модуле Plastic Advisor проводится конечно-элементный анализ проливаемости изделия, определяются точки впрыска материала, оптимальная геометрия литников.

После анализа проливаемости в модуле Pro/MOLDESIGN осуществляется проектирование литейной формы: создаются формообразующие элементы, вставки, литниковая система, выталкиватели и др. После этого определяется линия разъема и моделируются процесс отливания изделия и возможность разнятия формы.

В завершение по готовым моделям деталей пресс-формы можно создавать техническую документацию, ассоциативно связанную с моделями. При необходимости возможна генерация управляющих программ для изготовления деталей формы на станках с ЧПУ.

**Е.И. Шмыгов, П.И. Крышталь**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛИТЬЕВЫХ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ**

Основой любой системы автоматизированного проектирования (САПР) пресс-форм (ПФ) для литья термопластов под давлением является стандартизация и унификация как самих литьевых пресс-форм, так и сборочных единиц, узлов, деталей, входящих в них, материалов, из которых изготавливаются детали, и др. Основные системы (блоки) любой ПФ состоят из функциональных групп или деталей, а в ряде случаев из элементов деталей этих форм.

Конструкцию литьевой формы можно разделить на следующие основные системы: размещения, установки и крепления ПФ; система литниковых и газоотводящих каналов; формообразующих деталей (ФОД); центрирования; система охлаждения и регулирования температуры формы (система термостатирования); удаления изделий из пресс-формы; система перемещения деталей. Разделение литьевых форм на системы позволяет классифицировать конструктивные разновидности каждой из них и компоновать общую конструкцию пресс-формы из различных конструктивных разновидностей системы. Предлагаемое разделение ПФ на блоки позволяет не только проследить за усовершенствованием каждой системы, но и дает возможность унификации и стандартизации как систем, так и отдельных деталей, входящих в них.

Обычно при разработке конструкции пресс-формы конструктор, исходя из чертежа отливаемой детали и технических требований к ней, выбирает конструктивную схему ПФ, определяет оптимальное число гнезд формы в зависимости от программы выпуска деталей, выбирает термопластавтомат (ТПА), определяет режимы литья термопластичного материала, режимы термостатирования и на основе этой информации приступает к проектированию литьевой пресс-формы. Собственно проектирование литьевых форм отличается сложностью и трудоемкостью, особенно проектирование системы формообразования (области рабочей зоны), и поэтому этот процесс разделяют на последовательные стадии. Вначале разрабатывают рабочую зону, затем формируют структуру пресс-формы, которую уточняют и корректируют на основе последующих детальных расчетов.

Основные методы и способы решения задач, возникающих при проектировании ПФ, сложились достаточно давно. Эта информация может

иметь следующие виды: таблицы, типовые графические схемы (изображения элементов, узлов и сборок оснастки), правила по принятию решений, инженерные расчеты (которые могут быть элементарными, – т.е. одна или две формулы, или сложными, определенными на конкретную инженерную задачу).

Справочная литература по проектированию ПФ, как правило, описывает разнообразные конструкции, но не определяет логическую последовательность правил и процедур проектирования. Из анализа следует, что существующие отраслевые и заводские стандарты на конструкции пресс-форм и их элементы, руководящие материалы, содержащие рекомендации и методики проектирования, охватывают лишь наиболее общие и чаще всего встречающиеся задачи проектирования. Конкретные задачи, характерные для условий того или иного предприятия, и вопросы многочисленных взаимных увязок конструктивных решений при проектировании в методических материалах освещены недостаточно. Из практики известно, что конструктор, занимающийся проектированием ПФ, в своей повседневной деятельности использует нормативно-справочную документацию лишь в качестве справочника, а само проектирование осуществляет на основе личных знаний и опыта.

Исходя из основных положений системного анализа, последовательность решений многовариантных проектных задач, к которым с полным основанием можно отнести проектирование литьевых пресс-форм, состоит из ряда этапов. Каждый элемент ПФ, как сказано выше, представляет собой отдельный объект проектирования, и в то же время является частью более сложного объекта (системы), входящего в структуру пресс-формы. Предложенная в данной работе иерархическая структура строения технологической оснастки полностью применима для описания структуры литьевых пресс-форм. Эта схема отражает взаимосвязи между отдельными составляющими ПФ.

Основным моментом при реализации САПР ПФ является решение ряда вопросов, среди которых основными можно считать следующие: описание пресс-формы как объекта проектирования; знания о процессе проектирования ПФ.

Описание пресс-формы как объекта проектирования содержит следующие характеристики: назначение, принцип действия, рабочую схему, функциональную и иерархическую структуру, компоновку, описание всех систем, узлов и элементов, включая стандартные. Благодаря решению этих главных вопросов можно получить достаточно полный состав знаний по проектно-конструкторским реализациям как пресс-формы в целом, так и отдельных систем, входящих в нее.

Использование вычислительной техники позволило выработать новый подход к решению изложенных задач по проектированию пресс-форм. Он заключается в том, что наряду с формализацией процедур проектирования ПФ необходимо создание соответствующей базы знаний (БЗ) и базы данных (БД) и разработка методик проектирования, использующих эти данные как основу для принятия решений. Специальные программы, имеющие доступ к БД, должны выполнять обработку и вывод информации, содержащейся в ней, отвечая на запросы пользователя. В качестве такой программы предлагается использовать систему сквозного автоматизированного проектирования Pro/ENGINEER.

Данная методика представления знаний об объекте процесса проектирования по сравнению с «бумажной» технологией базируется не на каком-то новом виде информации, а на максимальном использовании сложившейся базы данных. В настоящее время эта информация хранится в пассивной форме в книгах в виде текстов, таблиц, формул, параметризованных графических образов и др. Предлагаемая методика обеспечивает перевод этой информации в активную компьютерную форму.

В процессе работы над методикой были автоматизированы следующие функции:

- выбор моделей (типовых конструкций) пресс-форм;
- установка начальных проектных параметров с использованием БД ТПА, а также различных справочных данных;
- получение различных вариантов одной и той же разрабатываемой пресс-формы;
- ведение архивов конструкторской документации с сохранением расчетных значений параметров

База данных, сформированная в Pro/ENGINEER, состоит из символьной, графической частей, а также твердотельных моделей стандартизованных элементов пресс-форм. В состав символьной части входят словарь терминов, таблицы с входными, выходными и промежуточными данными. В словаре терминов перечисляются все используемые объекты и их свойства, применяемые в предметной области при решении поставленных задач по проектированию литьевых ПФ. Словарь является единым для всей методики и системы. С помощью данного словаря и организовано общение конструктора пресс-форм с Pro/ENGINEER.

Символьная и графическая компоненты БЗ реализованы на базе модулей Layout с использованием функции Relations. Твердотельные модели включают справочные данные, имеющиеся в отраслевых нормативно-справочных материалах. Кроме перечисленных в таблице ГОСТов, в базу данных могут быть внесены также СТП предприятия.



## Секция 4

# НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ И МЕДИЦИНЕ

---

**P. Kostka, Z. Nawrat, E. Tkacz, Z. Matota**

*Poland, Zabrze, Foundation of Cardiac Surgery Development*

### **DYNAMIC MATHEMATICAL MODEL OF THE HEART VALVE – A COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT HEART VALVE PROSTHESIS**

**Background:** A mathematical modeling of heart valve prosthesis is a supplement of research and tests performed both on commercial, mechanical and manufactured in our institute, polyurethane and chemically or cryo preserved biological valves.

**Methods:** The mathematical model describing the valve as a resistance varying in time has been created. Especially the function of opening and closing phase dynamic has been estimated using several methods for different type of valve prosthesis. Based on pressure and flow signals recorded during its physical tests under various driving conditions, a parameters of mathematical model were estimated.

**Results;** We present the comparison of modeling quality for different identification methods, in which working valve is modeled as: resistance varying in time, linear ARMA time series, non-linear neural network system with wavelet pre-processing. Dynamic properties of working valve are described with the biggest accuracy using the neural network model. The model parameters for different heart valve types reflect their mechanical features.

**Conclusions:** The goal of presented work is to find the best modeling method, describing relatively closely the working valve as well as to find characteristic differences in models created for various valve types. Obtained results can be used for qualification of heart prosthesis for particular application.

**E. Kosycarz, J. Glapiński, M. Englisz, M. Darowski**

*Poland, Warsaw, Institute of Biocybematics and Biomedical Engineering PAS*

### **FLOW TRIGGERING AND ELECTROIMPEDANCE METHODS IN VENTILATORY ASSISTANCE**

Synchronization of ventilator breaths with the inspiratory efforts is very important. In the case of infants it can reduce the risk of hypercapnia, hypoxe-

hypoxemia and pneumothorax. It can also shorten the duration of ventilation in comparison to conventional ventilation. Duration of oxygen therapy could be lessened, as well. A variety of physiological signals could be used for synchronised mechanical ventilation. Physiological signals which are used to detect infant's breathing efforts should satisfy the following conditions:

- the signal should appear very quickly at the beginning of the inspiration and increase rapidly;
- the signal should be resistant to artifacts.

We have developed a flow detector. In this work we would like to compare our sensor and detection system, which has been produced by Sechrist. That detection system uses thoracic impedance pneumography signals. Both sensors are appropriate for infants with very low birth weight.

A method of detecting inspiration by measuring the flow of breathing gases has been worked out in the Institute of Biocybernetics and Biomedical Engineering. At first, this method was designed for adults. The results of the study are that the sensor was full of promise. We decided to check this method in the case of small children.

A very light foil diaphragm is the main part of our detector. The flow of air from a patient's lungs causes motion around the axle, where the foil is provided (with bearings). A very simple electrical system detects the foil's movement.

We used a signal from a flow-meter (Gold Godart BV type 17212) as a reference signal. We used that flow-meter when we searched Sechrist's detection system.

Sechrist's detection system uses thoracic impedance pneumography signals. At first the system was connected to an "artificial patient", a system which procedures violent fluctuations in resistance. The higher graph is the signal of resistance from the "artificial patient", the lower graph is a signal of response from the detection system.

Disquieting is the fact, that the impedance line is not stable – it starts going down before the correct signal appears. From those graphs it is evident that the detector has 28 ms of delay. In next step the cardiomonitor was connected to a patient (adult in good health). At the same time the patient was connected to the reference flow-meter (which was used before).

The beginning of the inspiration appears on the flow plot in a place marked by point. In the case of the impedance plot, the graph starts to increase much before the places marked by a point. We supported that this fact could be caused by instability of the detection system. We could see it in the former figure. In this situation we decided that a threshold could be placed at a point which is marked by a star. In according with the results of our study, the delay of Sechrist's detector is 80 ms longer than delay of the reference's flow-meter.

Recapitulation:

Impedance method is characterized by:

- a) Each patient's motion causes artifacts which could trigger respirator.
- b) The delay time between the real beginning of inspiration and the moment of triggering the ventilator is quite long. In accordance with our study it takes about 100 ms. According English scientists, who compared Sechrist's detection system with their electromagnetic detector, it takes even 200 ms. We should remember that the duration of infant inspiration lasts 200...250 ms.
- c) It is difficult to decide where the threshold is. It is a result of:
  - the plot of impedance signal starts going down without changing input signal;
  - the plot of impedance signal changes its level slowly and at the beginning an amplitude of tiny artifacts could be bigger than changes of the correct signal.

Comparison of flow triggering and electroimpedance methods.

1. Shape of plot during changing of phase of breath. In the instance of flow detector the changing of phase of breath appears as an immediately changing of graph level. In this way it is easy to decide where the threshold is. In the instance of electroimpedance method the changing of phase of breath appears as a slowly changing of the output signal's magnitude.

2. Delay. The delay time was stated with regard to the reference signal from the flow-meter. The flow detector responds to an input signal in the same time like the reference flow-meter. The impedance detection system has 80 ms of delay.

3. Unsteadiness of plots. The impedance signal is not stable where the input signal is constant. The flow signal is stable.

4. Resistance to artefacts. The impedance detection system is very sensitive to any artefacts. Every movement causes artefacts in the output signal, it could trigger a ventilator. If the artifact is short the respiration's inspiration will be suppressed by compliance of the system.

The flow detector is not so sensitive as the impedance one. The artefacts could be affected only by changing a flow in a ventilation's tube. It means that the patient can move himself and not trouble the ventilator's work. The short artefacts would be suppressed in the same way like in the impedance method.

**А.А. Барзов, В.П. Логинов**

*Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**СТРУКТУРА ПРОЕКТА ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ПОСЛЕВУЗОВСКОГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ОТРАСЛИ  
05.00.00 «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»**

Основная особенность при разработке проекта государственного образовательного стандарта послевузовского профессионального образования (ГОС ППО) по отрасли 05.00.00 «Технические науки» заключается в том, что научные специальности, по которым присуждается ученая степень кандидата технических наук, относятся не только к техническим наукам (05.00.00), но и сопряженно входят в другие науки. Причем степень этого сопряжения весьма значительна по объему и номенклатуре других наук. Так, например, степень кандидата технических наук присуждается наряду с другими учеными степенями по 24.00.00 «Культурология» (24.00.03 «Музееведение, консервация и реставрация историко-культурных объектов»). Данный пример далеко не единичен и весьма характерен для физико-математических, химических, биологических и других наук, включая «Архитектуру» (18.00.02, 18.00.04) и «Искусствоведение» (17.00.06).

Таким образом, технические науки по числу специальностей (140) являются не только самыми емкими, но и в значительной степени сопряжены с научными специальностями других отраслей знания (75). Очевидно, что данное обстоятельство отражает естественное состояние современной науки, но, тем не менее, затрудняет разработку методологической части ГОС ППО.

В связи с этим, в разрабатываемом проекте стандарта наряду с разделами, идентичными или близкими по содержанию с другими пилотными ГОС ППО, расширена квалификационная характеристика выпускника аспирантуры. В первую очередь это касается объектов его профессиональной деятельности, которая должна включать не только сферу чисто технических знаний, но и сферу обеспечения безопасной, эффективной и плодотворной деятельности человека в широком понимании данного термина.

В силу вышеизложенного, трудоемкой и сложной в методологическом и техническом плане представляется работа по соотношению специальностей научных работников с программами подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов. Очевидно, что данное соответствие в табулированном виде должно разрабатываться соответствующими УМО вузов не только технического профиля и органично войти в структуру ГОС ППО по отрасли «Технические науки». Причем по мере

разработки и утверждения новых программ подготовки специалистов в вузах РФ перечень соответствия будет дополняться и видоизменяться.

Таким образом, разрабатываемый проект ГОС ППО должен содержать три основные компоненты: специфические по содержанию разделы, отражающие сущность подготовки аспиранта по профилю «Технические науки», перечень соответствия программ подготовки выпускников вузов номенклатуре научных специальностей и часть, фактически общую, с проектами пилотных ГОС ППО по другим направлениям послевузовского образования.

**А.В. Белевич, П.В. Гольцов, Э.И. Комарова, О.В. Киселев,  
О.Ф. Федулов, В.А. Фролов**  
*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Оснащение учебных аудиторий университета современными ЭВМ и программным обеспечением требует совершенствования методики проведения занятий при изучении различных разделов технических дисциплин. Актуальность проведения работы в указанном направлении подтверждается также отсутствием универсальных надежных критериев оптимизации инженерных решений в области технологии машиностроения при огромном количестве инженерных формул и справочных данных, накопленных в литературе.

Серьезное внимание развитию и внедрению в практику обучения студентов машиностроительного профиля методов вычислительной механики придается в связи со сложностью закономерностей развития пластической деформации в металлах и тепловых явлений в технологических системах (при механической, лазерной обработке и обработке металлов давлением).

Опираясь на возможности математического аппарата механики сплошных сред, численных методов и средств вычислительной техники, на кафедре ТМС выполняют работу, направленную на создание новых методик обучения. Ставится задача приобщить студентов к творческому поиску новых решений на основе результатов углубленного исследования технологических процессов с применением математических моделей. Развитие такого подхода позволяет осуществить анализ, прибегая к численному эксперименту на практических занятиях.

Одним из первых шагов в данном направлении является разработка и внедрение методики расчетного моделирования напряженно-

деформированного состояния металла, тепловых явлений в процессах обработки и сопутствующих им эффектов. С этой целью разработана и внедрена методика решения расчетных задач на ЭВМ на основе анализа напряжений с помощью метода конечных элементов. Инструментом для проведения занятий в дисплейном классе служат учебно-исследовательские программы с базами данных, разработанные специально для этих целей на основе созданной на кафедре конечно-элементной системы *FEM*.

Одновременно выполняли работу по созданию более простых учебно-исследовательских программ на основе инженерных формул, приведенных в существующей литературе.

Например, при вычислении температуры, параметров качества, полей напряжений и деформаций руководствовались методами и результатами исследований известных российских ученых А.Н. Резникова, А.Д. Макарова, Э.Ф. Рыжова, А.Г. Сулова, Г.Я. Гуна, В.Л. Колмогорова и других. Характерными задачами, методика которых проверена на практических занятиях в дисплейных классах со студентами специальности 120100, являются: построение сеток конечных элементов в сложных областях, вычисление напряжений методом конечных элементов, методика выбора рациональной конструкции инструмента на основе анализа концентрации напряжений, вычисление температуры при обработке лезвийным инструментом, вычисление температуры при шлифовании, вычисление параметров шероховатости при чистовых операциях, вычисление режимов фрезерования и выбор оборудования, расчет размеров развертки деталей при листовой штамповке, расчет размеров рабочих частей вырубных штампов.

Отличительной особенностью всех разработанных программ является использование баз данных, выполнение многовариантных расчетов и работа в диалоговом режиме.

В последнее время студенты участвуют в разработке универсальных программ построения сеток линий скольжения для вычисления напряжений, вычисления температуры в твердых телах. Например, программы, составленные авторами, построены на основе известных алгоритмов [1] при различных видах схематизации процесса передачи тепла. Выполнена оценка погрешности вычисления температуры в зависимости от степени полинома, аппроксимирующего функцию ошибок, по сравнению с ее табличными значениями, приведенными в работе [2].

Опыт проведения занятий в соответствии с изложенным подходом свидетельствует в его пользу, так как приобретенные при этом навыки позволяют повысить уровень теоретических знаний студентов, подготовить их к творческой научной работе и работе с современными пакетами инженерного проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справ.. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512 с.

**Н.В. Веропаха, Д.Н. Веропаха**

*Россия, г. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ)*

## КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ

В настоящее время в сфере техники и технических наук формируется слой поисковых, фактически фундаментальных исследований, т.е. технической теории. Это приводит к специализации внутри отдельных областей технической науки и инженерной деятельности. Само по себе очень важное и нужное разделение труда порождает целый ряд проблем кооперации и стыковки различных типов инженерных задач. Эта тенденция находит свое отражение и в сфере инженерного образования. Поэтому возникает необходимость в применении системно-интегративного подхода к вопросам подготовки инженерных кадров с целью фундаментализации инженерного образования. Так как подавляющая часть прикладных наук возникла и развивается на основе использования законов природы, то фундаментальную составляющую имеют практически все инженерные дисциплины. То же можно сказать о многих гуманитарных науках. Поэтому в процесс фундаментализации должны быть вовлечены почти все дисциплины, изучаемые студентом на протяжении учебы в вузе. Это и лежит в основе практической целесообразности интеграции гуманитарной, фундаментальной и профессиональной составляющих подготовки инженера.

С целью фундаментализации подготовки инженеров по направлению 651400 – «Машиностроительные технологии и оборудование» нами предлагается комплексная сквозная программа системно-интегративной подготовки специалистов, направленная на более целенаправленное ознакомление студентов с базовыми инженерно-техническими дисциплинами, начиная с первого курса, для более плавного и осмысленного перехода от общеобразовательных дисциплин, преподаваемых на 1-м, 2-м курсах, к специальным дисциплинам профилирующих кафедр. Программа предусматривает более глубокое и детальное изучение общепрофессиональных и специальных дисциплин, дает возможность получения дополнительных специальных знаний в блоках дисциплин по выбору и регионального ком-

понента по гуманитарным, социально-экономическим и естественнонаучным вопросам, рассматриваемым в связи с техническими проблемами.

Основной целью данной проблемной технологии обучения является подготовка высококвалифицированного всесторонне образованного инженера, имеющего познания не только в узком русле своей специальности, но и в смежных областях, с которыми сталкивается молодой инженер на современном машиностроительном производстве. Поставленная цель реализуется планомерным и системным преподаванием комплекса дисциплин с рассмотрением межпредметных связей, позволяющим получить знания в области как специальных дисциплин, так и в области управления трудовым коллективом. В предлагаемую систему преподавания органически вплетается обучение студентов свободному владению современной вычислительной техникой, способности освоения любых пакетов конструкторских и технологических прикладных программ (CAD, CAM и т.д.), а также умению решать любые производственные задачи, опираясь на знания социальных, естественнонаучных и экономических дисциплин.

Предлагаемая комплексная сквозная программа разделена на циклы в соответствии с основной образовательной программой (ГСЭ, ЕН, ОПД и СД). В каждом цикле мы предлагаем выделить блоки взаимодополняющих друг друга дисциплин, комплексное преподавание которых должно обеспечить всестороннее обучение студентов. Такой комплексно-системный подход, когда последующая изучаемая дисциплина базируется на знании ранее изученной в данном блоке, подготавливает студента к изучению других блоков дисциплин. В качестве логической связи между блоками, по нашему мнению, должны выступить интегративные дисциплины. Такая блочная система позволяет усилить и расширить возможности таких разделов учебного плана, как региональный (вузовский) компонент и дисциплины по выбору. Предлагаемая комплексная программа должна рассматриваться как необходимое дополнение к системе дисциплин, входящих в федеральный компонент Государственного образовательного стандарта.

Диктуемая жизнью необходимость овладения обобщающими системными знаниями и порождает системно-интегративные тенденции в сфере инженерного образования. Поэтому, согласно нашим предложениям, в блоки дисциплин по выбору и в региональный компонент введены дисциплины, носящие характер интегративных курсов. Среди таких дисциплин, например, введен курс «Техноведение», отражающий межпредметные связи, обобщающий различные науки, опирающийся на знания основных положений ряда гуманитарных, социально-экономических, естественных и технических наук и способствующий формированию системных знаний. Цель введения данного курса в учебные планы – иметь прочное связующее звено между блоками ГСЭ, ЕН и ОПД, СД дисциплин, позволяющее полу-



чать не дифференцированные знания отдельных наук, а усваивать их в единой проблемной связи. Знания, полученные студентом в рамках данной дисциплины, помогут ему сформироваться как инженеру, имеющему широкий кругозор, и целостной личности, понимающей связи между техническими, гуманитарными и естественными науками; как инженеру, умеющему решать проблемы комплексно, рассматривая их во взаимосвязи с различными сторонами жизни, понимающему законы развития технических систем и человеческого общества, видящему связи между развитием техники, технологии и экологическими, социально-экономическими, политическими и историческими процессами.

В качестве учебно-методических материалов по дисциплине «Техноведение» и некоторым подобным интегративным дисциплинам выбрано создание электронного пособия, дающего возможность решить следующие задачи: увеличить динамику преподавания; дать наиболее полные знания по данному курсу; проследить все его основные взаимосвязи с другими областями знаний; получить сведения из прилегающих к данной дисциплине областей (что обеспечивается наличием и возможностями гиперссылок); составить четкую структуру (иерархию) самого курса; классифицировать и связать конкретные вопросы из смежных наук, на знание которых опирается данная дисциплина. Большим достоинством такого программного документа в виде гипертекста по сравнению с другими видами методического обеспечения является возможность легкой правки, внесения дополнений, иллюстраций и т.п.

Как было подчеркнуто ранее, предлагаемая образовательная программа предусматривает более объемное преподавание стандартных дисциплин, включенных в федеральный компонент, за счет их дополнения различными дисциплинами из регионального компонента и блоков дисциплин по выбору, призванных расширить и систематизировать получаемые знания. Подобный подход позволит преподавать дисциплины блоков ГСЭ, ЕН, ОПД и СД не разрозненно, а в единой проблемной связи, объединяя их едиными техническими целями. Для этого в учебный план введены следующие дисциплины: «История техники и технологии», «Эволюция технических объектов», «Техноведение», «Конструкторско-технологические проблемы экологии в машиностроении», «Перспективы развития станкостроения», «Информационные технологии в машиностроении», «Физико-химические основы процессов в машиностроении», «Гидро- и пневмоприводы станков» и «Процессы формообразования и инструмент», позволяющие получить специальные знания, находящиеся на стыках двух или более наук, способствующие максимальному использованию полученных системно-интегративных знаний по всем дисциплинам учебного плана применительно к решению технических проблем, а также раскрытию техниче-

192

ской составляющей в естественных, социально-экономических и гуманитарных науках.

**И.В. Дмитриева, В.П. Легаев, С.И. Вдовин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **СОВРЕМЕННАЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ НА УРОВНЕ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО ЗВЕНА**

Смертность от заболеваний сердца и сосудистой патологии в настоящее время практически во всех странах – это проблема номер один. Несмотря на все усилия практических врачей и научных работников, многочисленные разработки и мировые достижения, именно сердечно-сосудистая патология является ключевой и носит глобальный характер.

Особую группу составляют заболевания, протекающие с хронической сердечной недостаточностью, которая встречается все чаще, и смертность с поздней стадией заболевания (по данным Нью-йоркской кардиологической ассоциации) составляет 50% в год. Поэтому совершенно очевидно встает вопрос о ранней диагностике и адекватной терапии для данной категории больных.

Застойная сердечная недостаточность (ЗСН) является клиническим синдромом, больше характерным для конечной стадии патологических состояний, нарушающих работу сердца. Проявления ЗСН представляют собой, как правило, несоответствие величины выброса крови из сердца и потребностей организма. Это несоответствие может выражаться в снижении объема сердечного выброса при нормальной или даже низкой потребности либо в сочетании высокой величины сердечного выброса с патологически повышенными потребностями организма.

К сожалению, ЗСН может протекать совершенно бессимптомно в течение длительного времени и пациент обращается к врачу уже в финальной стадии болезни. Другой аспект ЗСН состоит в том, что вероятных причин данной патологии огромное количество, в том числе сепсис, анемия, тиреотоксикоз, артериовенозная фистула, болезнь Педжета, патология желудочно-кишечного тракта. Во всех этих случаях, как правило, отсутствует органическая патология сердца.

Поэтому на наш взгляд, наиболее актуальным является вопрос ранней диагностики ЗСН. Среди известных в мире инструментальных методов наиболее широко используют следующие: ЭКГ, рентгенологические, эхокардиографические, магнитно-резонансные. Несомненно, что данные методы при их комбинированном использовании могут быть полезными и

высокоинформативными. Однако, огромная дороговизна, отсутствие специфичности при внекардиальной патологии, заставляет искать другие диагностические критерии и возможности.

Мы имеем в виду, набирающую силу, судя по последним Международным конференциям BIOS–2000, BIOS–2001 (США), методы лазерной флоуметрии. Метод позволяет выявить ранние нарушения микроциркуляторного звена, которые являются предвестниками начинающихся васкулярных нарушений.

Используемый нами метод лазерной флоуметрии, позволяет провести раннюю диагностику таких заболеваний как: гипертоническая болезнь (кардиальная форма), атеросклероз сосудов брюшной полости, облитерирующий атеросклероз сосудов нижних конечностей, эндокринная патология. Данные приборы, снабженные компьютерной программой, обеспечивающей режим обратной связи с учетом частоты сердечных сокращений, дыхания, артериального давления, позволяют не только корректно выявить микроциркуляторные расстройства, но и оценить степень этих нарушений.

Таким образом, наряду с уже известными и достаточно дорогостоящими методами оценки степени сердечно-сосудистых расстройств, существует вполне доступный, относительно недорогой, позволяющий выявить ранние нарушения сердечно-сосудистой патологии на уровне микроциркуляторного звена, прибор для лазерной флоуметрии.

**А.В. Жданов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

**Д.В. Мамаев**

*Россия, г. Владимир, ОАО «Владимирский завод Электроприбор»*

## **СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИМПЛАНТИРУЕМЫМ АППАРАТОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ<sup>1</sup>**

Создание новых аппаратов вспомогательного кровообращения (АВК) требует разработки цифровых систем управления (ЦСУ), отвечающих жестким требованиям, предъявляемым к работе насоса автономного имплантируемого устройства. Разработка АВК с ЦСУ успешно проводится в США (Baxter, Hershey Medical Center), Японии (Yamagata, Hokkaido Universities) и других странах. В последнее время наиболее распространенными являются насосы мембранного типа, работа которых наиболее близка к работе естественного сердца.

---

<sup>1</sup> Исследования по этой теме поддержаны грантом № Е00-6.0-55 по фундаментальным исследованиям в области естественных наук

АВК состоит из имплантируемого блока, а также системы управления, основного и резервного источников питания, которые носятся на пояс больного. В состав имплантируемого блока входит электромеханический привод (ЭМП) с вентильным двигателем постоянного тока, исполнительный механизм возвратно-поступательного перемещения и искусственный желудочек (ИЖ) сердца. Выходной шток ЭМП толкает мембрану ИЖ в ту или иную сторону зависимости от направления вращения реверсивного двигателя.

Для надежной работы АВК ЦСУ должна обеспечивать следующие режимы: регулирование частоты от 40 до 180 уд/мин, изменение соотношений систола/диастола (1:1, 1:2, 1:3) при нагрузке на ЭМП от 0 до 150 Н, минимальное энергопотребление и тепловые потери. Параллельная работа естественного сердца и АВК накладывает на ЦСУ ряд дополнительных требований: синхронизация режимов системы, диагностика работы кровообращения и функционирования привода, своевременная индикация внештатных ситуаций. Для контроля положения ротора двигателя и конечных положений мембраны ИЖ использовались датчики Холла. Управляющие напряжения инвертора формировались микроконтроллером PIC16C74A фирмы Microchip. В зависимости от типов сигналы подавались либо непосредственно с выходов датчиков, либо усиливались операционными усилителями (для различных конструкций привода насоса).

Создан опытный образец ЦСУ, предназначенный для карманного ношения (габариты 100×70×25 мм), который имеет экран для цифровой индикации частоты сердечного ритма, режимов движения (постоянный и импульсный), необходимости подзарядки аккумулятора и диагностики параметров ЭМП (объем выброса, производительность, индикация возникающих отказов и др.) прошла лабораторно-стендовые испытания с ЭМП АВК модульного исполнения на специальном стенде, хорошо зарекомендовал себя при работе при различных режимах нагрузки.

**В.Ф. Коростелев, Н.Г. Рассказчиков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН**

Развитие и всестороннее внедрение современных информационных технологий (ИТ) позволяет формировать у будущих специалистов знания и умения соответствующие современному уровню развития техники и технологии.

При подготовке инженеров в области автоматизации технологических процессов основу современного образовательного процесса с применением ИТ составляют следующие ресурсы:

1. Программные.
2. Аппаратные.
3. Сетевые.
4. Комбинированные.

К программным ресурсам ИТ можно отнести программные средства (MathCAD, MATLAB, AutoCAD, PCAD, пакеты схемотехнического моделирования Micro-Cap V, Electronics Workbench, обучающие программы, электронные учебники и т.д.), используемые в учебном процессе при изучении общепрофессиональных и специальных дисциплин (электроника, электромеханические устройства, моделирование систем управления и др.).

Аппаратные ресурсы ИТ основываются на информационно-измерительных комплексах, позволяющих проводить экспериментальные исследования в лабораторных условиях с обработкой данных на ЭВМ и визуализацией технологического процесса (SCADA-система).

Сетевые ресурсы локальных и глобальных сетей, в частности Интернет-технологии, позволяют расширить информационные возможности обучающихся за счет внедрения информационно-справочных баз данных, проведения учебного лабораторного эксперимента в условиях удаленного доступа в реальном масштабе времени.

Комбинированные ресурсы ИТ включают в себя отдельные возможности ранее указанных ресурсов.

На кафедре автоматизации технологических процессов разработаны элементы аппаратного и программного обеспечения исследовательского комплекса, включающего пресс усилием 3 МН, информационно-измерительную систему (ИИС), управляющую ЭВМ и устройство связи с объектом (УСО).

В состав ИИС входят устройства сбора и первичной обработки информации, выполняющие следующие функции:

- контроль температуры металла и формы;
- контроль продолжительности отдельных этапов технологического цикла;
- обработка информации о перемещении, скорости и давлении;
- диагностика состояния комплекса, технологического процесса и поиска неисправностей.

УСО реализовано на интерфейсной плате сбора данных L-154, позволяющей:

- осуществлять многоканальный ввод с аналоговых каналов с частотой до 70 кГц на канал;
- осуществлять асинхронный ввод с различных аналоговых каналов;
- управлять цифро-аналоговым преобразователем;
- осуществлять работу в двух режимах: в программном режиме и в режиме генерации прерываний IRQ;
- управлять цифровыми линиями в асинхронном режиме.

Имеется комплект программного обеспечения на языках АССЕМБЛЕР, СИ, ПАСКАЛЬ и динамическая библиотека для Windows-3.XX и Windows-95 (для работы в среде Visual Basic 3.0 и Lab View 3.1). Управляющая ЭВМ – IBM Pentium-200.

Разработаны блоки согласования и преобразования входных и выходных сигналов, структура интеллектуальной системы управления прессующим механизмом с мультипликатором давления.

В меню специально разработанной предметно-ориентированной программы предусмотрена обработка показаний датчиков, реализация алгоритма управления с использованием компьютера Pentium (200 MHz), построение графиков и зависимостей, автоматическое включение регуляторов, отработка команд.

Программно-аппаратный комплекс в случае задействования сетевых ресурсов позволит проводить учебный лабораторный эксперимент в реальном масштабе времени с удаленным доступом.

**В.П. Легаев, С.В. Федоров, С.И. Вдовин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **АНАЛИЗАТОР СОСТОЯНИЯ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА**

В современном мире все более распространенными являются эндокринные нарушения, ишемические расстройства и т.д., для которых характерно поражение сосудистого звена.

Одним из перспективных методов изучения гемодинамики сосудов на сегодняшний день является доплеровская флоуметрия. В доплеровских измерителях потока используется известный эффект изменения частоты сигнала, детектируемого движущимся приемником, удаляющимся от неподвижного источника. При этом доплеровский сдвиг будет пропорционален скорости объекта (в нашем случае эритроцита).

Данный метод очень удобен, позволяет постоянно производить исследования, может применяться как интраоперационно, так и неинвазивно. Есть опубликованные данные отечественных авторов о большей достовер-

ности результатов доплерографии перед другими не инвазивными методами. Однако метод только позволяет оценить наличие кровотока и не позволяет оценить кровенаполнение и прогнозировать жизнеспособность тканей. Для более полной оценки состояния сосудистой системы человека авторами статьи предлагается совместно использовать какой-либо метод, позволяющий устранить эти недостатки.

В качестве такового целесообразно использовать метод импедансной реоплетизмографии, основанный на регистрации изменения электрического сопротивления мягких тканей при колебании их кровенаполнения. Достоинством данного метода является его не инвазивность, кроме того, он практически не вносит изменений в состояние исследуемого объекта.

Электрическое сопротивление между какими-либо участками человеческого тела представляет собой комплексное объемное сопротивление. Емкостную составляющую вносит контакт между поверхностями электродов и тканями, кожей и тканями, лежащими под ней. Величина емкости определяется величиной поляризационного эффекта, который уменьшается с ростом частоты. На частотах выше 100 кГц явление поляризации практически не наблюдается, а емкостное сопротивление подкожных тканей невелико. Можно считать поэтому, что проводимость ткани в области этих частот имеет лишь активную составляющую. В настоящее время можно считать доказанным, что электропроводность живой ткани определяется главным образом степенью ее кровенаполнения. Это объясняется тем, что кровь (главным образом плазма) обладает очень высокой электропроводностью, поэтому по электропроводности живой ткани на высоких частотах можно судить о кровенаполнении отдельных органов или участков тела.

Реоплетизморграф может быть реализован в качестве портативной приставки к доплеровскому анализатору кровотока или выполнен с ним заодно в качестве отдельного прибора.

Для согласованного управления обеими приборами, а так же индикации и обработки результатов измерения целесообразно использовать компьютеры типа IBM PC/AT. Обработку данных следует производить быстрым преобразованием Фурье, что дает существенный выигрыш по времени по сравнению с другими методами, в результате чего можно отслеживать результаты диагностирования в реальном масштабе времени и вырабатывать соответствующие управляющие сигналы.

**В.В. Морозов, Ю.А. Новикова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **БИОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ТРАНСПЛАНТИРУЕМОГО ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА<sup>2</sup>**

Сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место среди причин смерти. Современная кардиология, кардиохирургия и реанимация все настойчивее ставят вопрос о расширении применения технических средств и устройств, частично или полностью, временно или постоянно замещающих насосную функцию больного сердца. В последние десятилетия параллельно с трансплантацией бурно развивается одно из новых направлений в технике и медицине - создание искусственных органов. Эта проблема затрагивает широкий круг вопросов медицинского, медико-технического и социального характера.

В решении этой проблемы можно выделить два направления:

- (1) постоянная замена естественного органа протезом, полностью заменяющим насосную функцию сердца и способного длительные годы гарантированно поддерживать адекватное кровообращение в организме – *трансплантируемое искусственное сердце (ИС)*;
- (2) временная замена функции на период лечения органа до восстановления его функциональной способности – *имплантируемая система вспомогательного кровообращения (ИСВК)*.

При создании длительно работающего искусственного сердца все задачи, решение которых необходимо для создания ИС краткосрочного применения, неизмеримо усложняются. Материалы, из которых должно быть выполнено ИС, должны обладать антитромбогенностью, т.е. гарантировать отсутствие образования тромбов на поверхностях, контактирующих с кровью. Система управления должна обеспечивать адекватную работу ИС и иметь малые габариты для размещения в теле пациента. Источник энергопитания системы ИС должен быть компактным, легко размещаться внутри организма и вырабатывать энергию в течение длительного времени. Альтернативой является источник энергии, расположенный на поверхности организма (паракорпоральное размещение) с возможностью передачи энергии через неповрежденный кожный покров. Как промежуточный вариант имплантируемого источника энергии может быть рассмотрен ранцевый вариант, когда источник энергопитания расположен на поверхности тела и соединен с исполнительным устройством электро- или пневмомагистраля-

---

<sup>2</sup> Исследования по этой теме поддержаны грантом № Е00-6.0-55 по фундаментальным исследованиям в области естественных наук



ми. В этом случае возникает дополнительная задача надежной и длительной герметизации вводов для предотвращения попадания вдоль них инфекции внутрь организма. Ранцевые пневматические системы ИС повысили мобильность больных, однако, применение таких систем, также как и стационарных, связано с большим риском развития инфекции. Поэтому безопаснее применять для временной поддержки кровообращения полностью имплантируемые системы ИС, которые при этапной трансплантации сердца должны удаляться.

Сегодня полностью удовлетворить потребность в донорских сердцах, которая только в США оценивается от 35 до 100 тысяч в год, не удается, поэтому актуальной остается задача по созданию автономных портативных ИСВК и ИС. Продолжающиеся интенсивные исследования по совершенствованию перспективных и созданию новых конструкций портативных систем ИС свидетельствуют о том, что основные конструкторско-технические и медико-биологические задачи остаются нерешенными.

Одной из важнейших проблем функционирования систем вспомогательного кровообращения и искусственного сердца является создание надежного привода, обеспечивающего непрерывный кровоток. Сердце выбрасывает кровь в сосуды импульсами (порциями) и в норме создает максимальное давление, равное примерно 120 мм рт. ст.; такое же оно и в крупных сосудах. Однако в тот момент, когда кровь из сердца не поступает в сосуды, давление там не падает, как правило, ниже 70...80 мм рт. ст. Имеющиеся в организме взрослого человека около 5000 мл крови совершают полный кругооборот примерно за 1 минуту. Если в каком-либо органе возникает потребность в большом количестве крови, она обеспечивается, прежде всего, расширением просвета артериол, открытием капилляров и только потом – увеличением производительности сердца. Она возрастает за счет увеличения количества крови, выбрасываемой за одно сокращение (ударный объем), а также за счет учащения сокращений.

Перспективными конструктивными решениями приводов искусственного сердца являются электромеханические модули. Встраиваемая конструкция двигателей с полым ротором позволяет создавать приводы в виде единого моноблочного узла, когда ротор устанавливается на ведущем звене исполнительного механизма. Специально разработанные двигатели для привода представляют собой бесконтактный моментный двигатель на постоянных магнитах с трехфазной обмоткой якоря на статоре. Внутреннее отверстие ротора используется для пропуска проводов, волноводов, световодов, установки датчика положения ротора или вала редуктора.

В последнее время коллективом предложены варианты новых конструкций ИС с целью повышения компактности и приближения к естественным габаритам сердца. Искусственное сердце содержит два искусственных

200

желудочка с насосными устройствами мембранного типа и электропривод, размещенный в плоскости, перпендикулярной оси выходного штока. Винт-рейка роликовинтового планетарного механизма через зубчатое зацепление взаимодействует с валом-шестерней, сообщая поступательное перемещение рейке, к торцам которой прикреплены мембраны искусственных желудочков.

При создании приводов ИС обычно считается достаточным, если привод выдерживает заданный ритм пульсаций, необходимое давление и обеспечивает непрерывный кровоток. Однако ряд исследований показал, что работа естественного сердца подчиняется гораздо более сложным законам. «Обычной» сердечной деятельности присуща некоторая нестабильность ритма, отклонения частоты по определенным закономерностям, которые характерны для хаотических аттракторов, нередко возникающих в нелинейных динамических системах с бифуркацией удвоения цикла. Так, «жесткий» ритм свидетельствует о серьезной дисфункции сердечной деятельности и неестественен для здорового сердца.

Рассогласование ритма, в целом, подчинено нормальному распределению с дисперсией, индивидуальной для каждого пациента. Поэтому для реализации алгоритма сердечной ритмики идеально иметь богатую статистику ЭКГ больного, которому будет трансплантировано ИС. Разумеется, это крайне сложно сделать, т.к. здоровый человек редко фиксирует свою ЭКГ. Однако уже сейчас на основании имеющегося статистического материала можно выделить диапазон, в пределах которого меняется дисперсия, и смоделировать «хаотический» ритм здорового сердца.

Новизна и перспективность выбранного технического решения подтверждается аналогичными исследованиями по применению приводов на базе бесконтактных двигателей постоянного тока и планетарных передач в системах вспомогательного кровообращения и искусственного сердца, которые ведутся в США, где было создано постоянно действующее искусственное сердце на базе роликовинтовых передач (Penn State University's Hershey Medical Center). Подобные работы проводит фирма NOVACOR Division (Oakland, CA), разработавшая автономную моноблочную систему ИС на силовом электромагнитном двигателе.

Разработанные конструкции электромеханических модулей привода трансплантируемого искусственного сердца представляются наиболее перспективным решением для трансплантологии, имеют ряд существенных преимуществ перед зарубежными аналогами: малые массу и габариты, максимально приближенные к размерам живого сердца; высокий КПД исполнительного механизма, позволяющий снизить энергопотребление автономной системы и не допускать нагрев корпуса свыше 40<sup>0</sup>С.

**В.К. Мясников, П.Н. Душанин, Я.И. Куровцев**

*Россия, г. Ярославль, ЯрГТУ*

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТРЕНАЖЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**

В машиностроении преобладают дискретные процессы, но имеют место и непрерывные технологии: литейное производство, термообработка, обработка давлением, сварка и т.п. Управление такими процессами представляет собой сложную проблему, когда многие из них «изнутри» не видны и их математические модели не обладают достаточной точностью. Существуют также такие элементы, как анизотропность материалов, неравномерность распределения силовых и температурных полей при резании, влияние человеческого фактора. Исходя из этого, требуется внедрение информационных технологий в сферу образования инженеров-технологов с целью автоматизации процесса обучения и повышения квалификации. Одним из мощнейших в ряду таких средств являются компьютерные тренажеры, позволяющие вести обучение на реалистической динамике и в среде, повторяющей или близко имитирующей реальную среду управления процессом, а также гарантирующие массовость обучения, его интенсификацию и адаптацию как к предмету обучения, так и к индивидуальным особенностям обучаемого. С помощью тренажеров можно проверять и обеспечивать постоянную психологическую готовность к выполнению профессиональных обязанностей. Если первые поколения таких тренажеров представляли собой дубликаты элементов реального щита управления, то появление высокопроизводительных микропроцессоров и программ супервизорного управления технологическими процессами открыли возможность разработчикам и производителям тренажеров создания их как компьютерных программных комплексов. В настоящее время тренажерные системы представляют собой компьютерные комплексы.

Действующими лицами в компьютерной тренажерной системе являются обучаемый и инструктор. Существо действий обучаемого – постоянное наблюдение за процессом и поддержание его нормального функционирования в случаях, когда автоматика с этим не справляется. Обучаемый имеет дело не с реальной, а с моделируемой технической системой, причем состояние системы может меняться инструктором в целях создания разнообразных тренировочных ситуаций, в которых ученик без риска нанести вред реальному объекту может практиковаться в отработке эффективных способов управления. Последовательность отработки обучаемым тренировочной ситуации включает следующие стадии: наблюдение за ходом процесса, определение отклонений от заданного режима, диагностирование истоков события, вмешательство в

истоков события, вмешательство в ход процесса с целью компенсации нежелательных последствий.

Основная задача инструктора состоит не в управлении технической системой, а в обучении оператора. К функциям инструктора следует отнести: отслеживание действий оператора, вмешательства в техническую систему, ведение, просмотр и анализ протоколов занятий, анализ эффективности управления, контроль технологического процесса.

Исходя из функций действующих лиц компьютерной тренажерной системы необходимо создание интерфейса обучаемого и интерфейса инструктора. Интерфейс обучаемого должен быть идентичен реальному. Интерфейс инструктора должен обеспечивать возможность наблюдения инструктором работы технологического процесса, работы системы управления, действий оператора.

Проблема идентичности интерфейса оператора реальному при разработке компьютерных тренажеров легко разрешима при помощи современных HMI/SCADA-пакетов (Human Machine Interface/ Supervisory Control and Data Acquisition System – человеко-машинный интерфейс / система сбора данных и оперативного диспетчерского управления), широко используемых практически во всех производствах. Среди наиболее известных пакетов этого класса известны такие SCADA-системы, как In Touch, FIX, Genesis, Trace Mode, Genie, RTWin и другие, работающие в различных операционных системах. SCADA-системы обеспечивают выполнение функций, начиная от приема информации о контролируемых технологических параметрах от контроллеров нижних уровней и датчиков, до непосредственного автоматического управления технологическим процессом в соответствии с заданными алгоритмами. Основным информационным элементом этих пакетов является тег, имеющий уникальное имя и атрибуты. Он может быть сигналом с того или иного датчика, данными из другого приложения. В случае же создания интерфейса оператора тег может быть запрограммирован пользователем.

В качестве примера использования SCADA-систем для создания интерфейсов обучаемого и инструктора рассмотрим технический объект – емкость для подготовки и обеспечения аварийным запасом сжатым воздухом цеха машиностроительного предприятия. Назначение данного аппарата – сглаживание колебаний расхода воздуха заводской сети, а также обеспечение цеха аварийным запасом воздуха в случае аварии. Регулирование давления воздуха (в данном случае 0.4 МПа) на выходе из емкости обеспечивается изменением величины выходного расхода.

В качестве SCADA-системы выбрана система GENESIS-32, а модель объекта, средств измерений и системы управления реализованы на языке

программирования Visual C++. На иллюстрациях показаны интерфейсы обучаемого (рис. 1) и инструктора (рис. 2).

При этом интерфейс обучаемого идентичен реальному и представляет собой мнемосхему процесса и тренды технологических параметров (сведения о давлении в емкости и на выходе из нее, а также значения входного и выходного расхода и температуры воздуха), а интерфейс инструктора, кроме этого, содержит все необходимые средства диагностирования действий обучаемого и средства влияния на процесс, а также возможность имитации различных ситуаций: отключение давления воздуха в заводской сети, неисправности приборов (например, отказ датчика давления P2). Предусмотрена возможность управления процессом в ручном режиме.

При проектировании особое место занимают вопросы моделирования технических систем и систем автоматизации с учетом фактора времени при динамическом характере имитируемых процессов. Компьютерный тренажер требует точных моделей сложных физико-технических и физико-химических процессов в технических системах. К тому же динамическая модель технологического процесса должна обеспечивать адекватное поведение во всем диапазоне воздействий с учетом возможности наносить возмущения в произвольный момент.

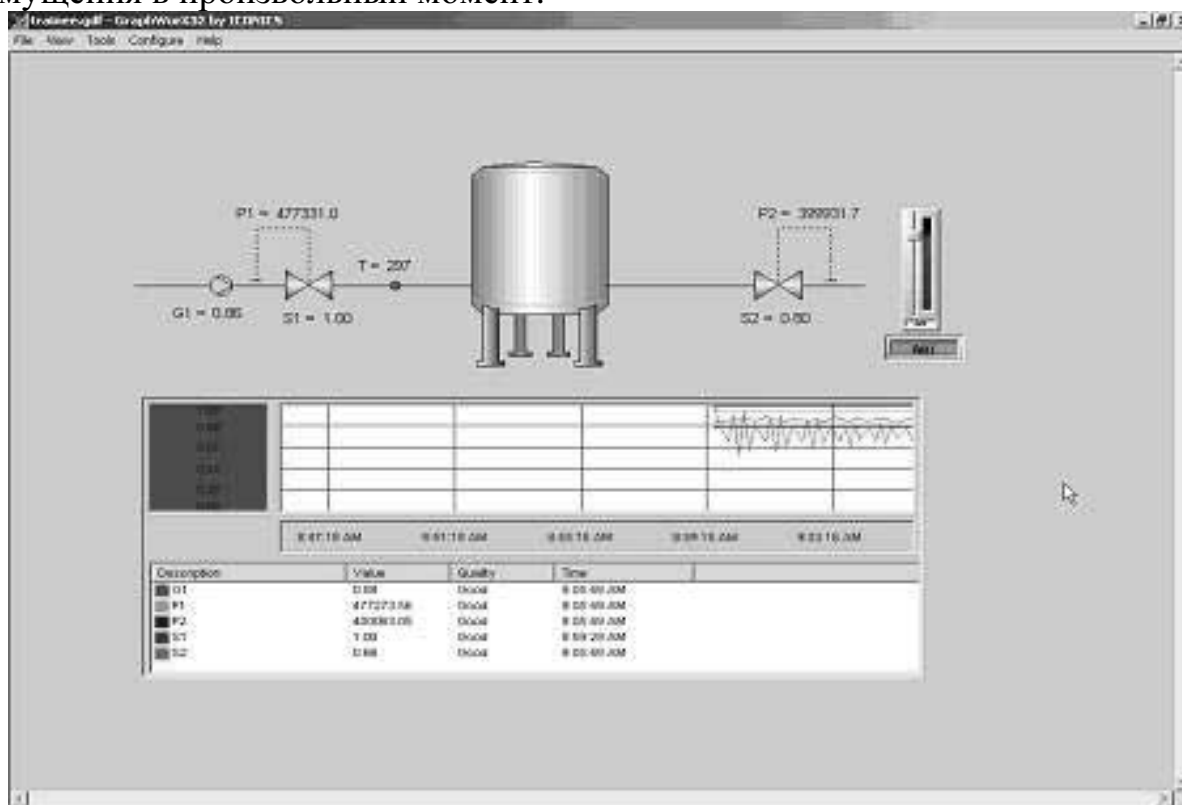


Рис. 1. Интерфейс обучаемого

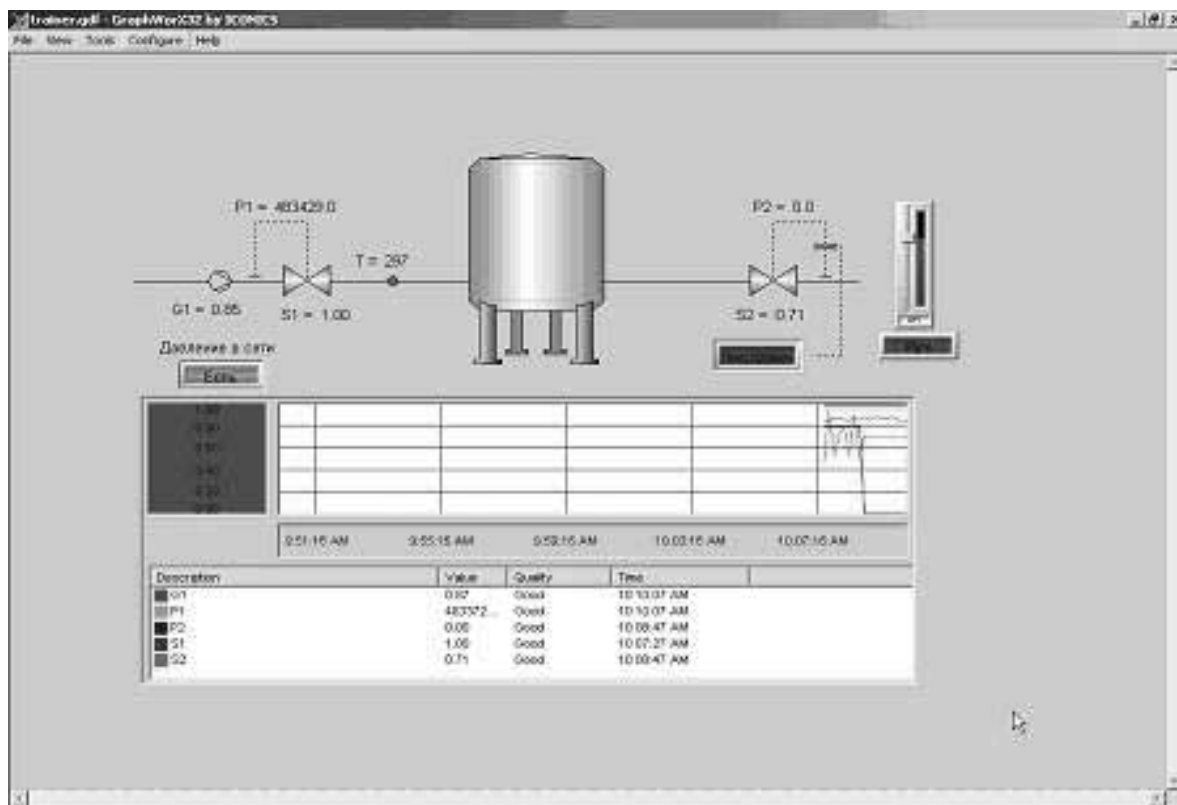


Рис. 2. Интерфейс инструктора

Сложность применения концептуальных (феноменологических) и физических моделей обусловлена тем, что эмпирически восстановленные простые по структуре модели достаточно хорошо отражают истинное поведение объекта только вблизи отдельных (базовых) режимов работы, а также не могут обеспечить достаточную точность отражения свойств объекта и процесса при произвольных комбинациях внешних условий и управляющих воздействий, так как в их основе лежат не фундаментальные принципы процесса, а восстановленные по экспериментальным данным зависимости типа «вход-выход». В свою очередь, математические модели, исходящие из основных физических законов и, следовательно, фундаментальных признаков устройства и функционирования технологических объектов, должны, на наш взгляд, стать своеобразным отправным пунктом при создании точных моделей технологических процессов.

На основе структуры объекта и, по крайней мере, частичного понимания его функционирования подбирается вид структуры модели. В этом случае остается только получить информацию о числовых значениях ряда параметров. Причем речь идет не о частичной идентификации объектов и систем, а о комплексном автоматизированном оценивании коэффициентов дифференциальных уравнений, описывающих динамику объектов, коэффициентов линейной и нелинейной моделей объектов и т.д. Под оцениванием параметров понимается экспериментальное определение значений

параметров, характеризующих поведение объекта, в предположении, что структура модели объекта известна. В некоторых случаях необходимы более подробные сведения, в частности, непрерывная информация о состоянии объекта, что приводит к задаче оценивания состояний. Причем в большинстве случаев оценка состояния производится в условиях нормальной эксплуатации, а оценка параметров может быть основана как на активных экспериментах, так и на наблюдениях за исследуемым объектом. Задаче оценивания можно дать следующее схематическое описание. На объект и модель действует один и тот же входной сигнал. Сравнивается искаженный помехой выходной сигнал объекта и выходной сигнал модели. Необходимо определить оптимальный способ корректировки модели. Таким образом, критерием выбора оптимума должен быть функционал от выходных сигналов или от математического ожидания ошибок оценок параметров. Выходной сигнал функционально связан с числовыми значениями параметров.

Для решения этой проблемы предлагается использовать интерфейсную связь реально существующей системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления (посредством сервера OPC (OLE for Process Control – технология связывания и внедрения объектов для управления процессами)) с ЭВМ, на которой функционирует модель. Таким образом, используя на данной ЭВМ систему сбора данных и осуществив подобную связь, возможно оценивание параметров и состояний любого объекта путем проведения соответствующих активных или пассивных экспериментов.

Следует отметить, что при оценивании параметров объекта время наблюдения часто ограничено экономическими или принципиально техническими соображениями. В большинстве практических ситуаций возможности эксперимента жестко ограничены. Для построения моделей часто необходимо ставить эксперименты в процессе нормальной работы. Это означает, что подаваемые возмущения должны быть достаточно малы для того, чтобы влиять на производство без нанесения аварийных последствий. К тому же, в ряде случаев проведение активного эксперимента оказывается недопустимым и приходится довольствоваться лишь пассивными методами оценки параметров и состояний того или иного объекта.

Возникающие при разработке компьютерных тренажеров многочисленные проблемы, разрешимы с помощью современных систем сбора данных и оперативного диспетчерского управления. Программирование тегов, как основных источников информации, обеспечит идентичность реального интерфейса оператора имитируемому. Применение OPC-серверов для автоматической идентификации сделает возможным создание высокоточных моделей процессов.

**Е.А. Новикова, В.В. Морозов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **МЕСТО ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Проблемы подготовки инженеров для машиностроительных предприятий и организаций неразрывно связаны с проблемами современного высшего образования и вхождением России в международный образовательный рынок. Становится очевидным, что лидирующей нацией XXI века будет та, которая создаст наиболее эффективную систему образования. Обеспечение качества обучения инженерным специальностям на уровне требований современного машиностроительного производства чрезвычайно важно для промышленности России и соответствует стратегическим целям и задачам инженерного образования.

Деятельность инженера на современном предприятии неразрывно связана с применением информационных технологий в производственной, конструкторской и технологической областях. При этом наибольший успех имеет тот специалист, который может качественно обработать достаточно большой объем информации за короткое время и эффективно использовать полученные результаты в своей деятельности.

Владение современными информационными технологиями способствует повышению эффективности будущей профессиональной деятельности. Например, умение программировать или грамотно применять готовые программы сокращает время на выполнение проектов, освобождая от выполнения рутинных и трудоемких операций по подготовке чертежной документации или проектировочным расчетам для творческой деятельности. Развитие сетевых технологий и, прежде всего, Интернета ведет к новым условиям получения профессиональных знаний и самообразования. Более того, проникновение компьютерных технологий буквально во все сферы деятельности человека приводит к необходимости приспосабливаться к жизни в новой информационной среде.

Обеспечение адекватного уровня научно-методического и информационно-технического сопровождения при обучении студентов инженерным специальностям, являясь необходимым условием достижения качества высшего инженерного образования, требует организации новых форм обучения, открытия новых специальностей. Опыт обучения студентов в Учебно-научном центре новых инженерных технологий показал востребованность специалистов-технологов, владеющих работой в современных CAD/CAM/CAE-системах, системах управления производством, CALS-технологиями поддержки жизненного цикла продукции. Вместе с тем,



обучение новым информационным технологиям инженерной деятельности в высшей школе сдерживается отсутствием соответствующих дисциплин в рамках ГОС специальностей 120100 и 120700. Поэтому представляется давно назревшей и актуальной задачей открытие специальности 071900 «Информационные системы в технологии» со специализацией в области технологии машиностроения.

Обучение новой специальности должно проводиться так, чтобы студент в течение всего периода обучения был «погружен» в среду самых современных информационных технологий, в том числе и для машиностроения. В программе обучения следует обеспечить оптимальное соотношение между базовыми инженерными знаниями и методами их приложений в современных информационных системах. Например, изучение работы в САД-системе должно проходить после освоения «классических» методик проектирования, имитационного моделирования в Simulink – после освоения теории автоматического управления и т.д. В свою очередь, изучение методов автоматизации инженерной деятельности основано не только на знании конкретных приемов работы в той или иной системе, но и на знании принципов, на базе которых реализуются алгоритмы автоматизации. Например, при изучении конечно-элементного прочностного анализа в ANSYS следует давать представление о методе конечных элементов, его роли в решении задач математической физики и приложениях к задачам теории упругости, особенностях реализации в различных САЕ-системах.

Кроме того, программа предполагает поддержку инженерных кадров на предприятиях после окончания вуза, поэтому университет должен при обучении учитывать интересы предприятий. Такая обратная связь реализуется путем целевого распределения выпускников по контрактам с предприятиями и путем организации филиалов на предприятиях.

Для открытия обучения по специальности 071900 в настоящее время ведется разработка учебных планов, рабочих программ, планируется введение новых курсов «САПР в машиностроении (CAD/CAM/CAE-системы)», «Основы конечно-элементного моделирования и анализа», «Основы проектирования и конструирования в системе Pro/ENGINEER», «Информационные технологии управления производством (CALS-технологии)», «Мехатроника»; формируются учебные классы с сетевой инсталляцией необходимого ПО (системы Pro/ENGINEER, ANSYS, Pro/INTRALINK, PDM Step Suite, Windchill и др.).

Механико-технологический факультет ВлГУ в течение многих лет готовит инженеров для машиностроительных предприятий региона по базовым машиностроительным специальностям. Включение в перечень специальностей факультета новой специальности 071900 логически соединит в единое целое фундамент машиностроения: литейные процессы и произ-

водства, технологию машиностроения и автоматизацию производственных процессов. Это не только веяние времени, это уровень университетского инженерного образования.

**Д.Ю. Орлов, Ю.А. Орлов, А.А. Пучежский**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОДШИПНИКОВОГО МАТЕРИАЛА ПРОТЕЗА БЕДРА**

В практике конструирования деревообрабатывающего оборудования известен целый ряд материалов, используемых в качестве вкладышей подшипников скольжения.

Это текстолиты, древесные пластики, полиамиды, фторопласты и т.д. Однако вышеперечисленным материалам присущ целый ряд недостатков: малая износо- и теплостойкость, невысокая нагрузочная способность.

В последнее время в НИИ «Полимерсинтез» (г. Владимир), профессором Л.Б. Соколовым и его учениками разработаны новые марки ароматических полиамидов со свойствами, позволяющими использовать их в подшипнике скольжения.

Испытывалось два материала: Фенилон С2 и Графелон 20. Они имели следующие паспортные характеристики.

Наименование материала	Фенилон С2	Графелон 20
Температура размягчения, °С	290	290
Прочность при растяжении, МПа	140...160	100
Предел текучести при сжатии ( $t=20^{\circ}\text{C}$ ), МПа	250	280
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1330	1320

Анализ работы различных конструкций показал рекомендуемые области применения нового пластикового материала.

К числу таких узлов деталей машин следует отнести конструкции, в которых исключено образование масляного клина из-за повторно кратковременного режима работы по типу маятника и невысоких скоростей скольжения, меняющих свой знак в течение каждого периода.

С целью повышения маслоудерживающей способности (ориентировочно в 1,8...4 раза) на поверхности трения образцы обрабатывались эпиламсодержащими покрытиями.

Методика выполнения измерений предусматривала наличие стандартной машины трения типа СМУ-2. Оценка износа проводилась по методу вырезания лунки и изменению массы узла трения.

В процессе эксперимента предельное удельное давление на поверхности контакта исследуемого материала достигало 11...15 МПа. Измене-

ние геометрических размеров образца контролировалось с помощью микроскопа БМИ-1Ц и показывающего прибора с индуктивным преобразователем модели 214. С помощью аналого-цифрового преобразователя типа L-305 результаты измерений вводились в ЭВМ и обрабатывались управляющей программой с учетом вероятности случайной составляющей погрешности эксперимента.

В результате экспериментов получено, что Фенилон С2 имеет интенсивность износа на уровне  $0,39 \cdot 10^9$  и коэффициент трения 0,14, а Графелон 20 интенсивность износа  $0,16 \cdot 10^9$  при коэффициенте трения 0,105.

Таким образом, на основании полученных сведений исследуемые материалы можно отнести к группе с самосмазывающимися свойствами.

**А.А. Пучежский, Ю.А. Орлов, Д.Ю. Орлов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ВОПРОСЫ ГИГИЕНЫ ТРУДА В МАШИННО-ВАННОМ ЦЕХЕ ПРОИЗВОДСТВА ТАРНОГО СТЕКЛА**

Проведено исследование условий труда работающих в производстве тарного стекла (бутылок различного назначения) на Анопинском стекольном заводе фирмы «РАСКО». В настоящее время данное предприятие реконструировано с помощью американской фирмы, на нем установлено современное стеклоформирующее оборудование.

Выработка стеклянной тары осуществляется на автоматизированных линиях, включающих стекловаренную печь, фидер, питатель, стеклоформирующий автомат, ленточный конвейер, и печь отжига (лер). Неблагоприятные условия труда наблюдаются на всех этапах получения тары, однако работу оператора стеклоформирующей машины можно считать наиболее неудовлетворительной. Его трудовая деятельность связана с такими вредными факторами, как шум, повышенная температура, тепловое излучение, загрязнение воздуха продуктами неполного сгорания масла, дымом, образующимся при смазке форм. Параметры шума стеклоформирующего автомата АЛ 110-2 превышают допустимые на 10...26 дБ с наибольшим отклонением от нормативных величин в высокочастотном спектре (1000...8000 Гц).

Тепловое облучение на рабочем месте оператора СФМ достигает  $495...510 \text{ Вт/м}^2$  при нормативном уровне  $140 \text{ Вт/м}^2$ . Такие высокие уровни облучения, в основном, инфракрасными лучами в сочетании с нагревающим микроклиматом (температура достигает  $36^\circ\text{C}$  при низкой относительной влажности 17...23%) оказывают неблагоприятное влияние на здоровье человека, вызывая перегревания вплоть до солнечного удара.

Основными вредными химическими веществами, поступающими в воздух рабочей зоны являются минеральные масла и акролеин. По данным лабораторных исследований областного Центра санэпиднадзора концентрации минеральных масел на рабочем месте оператора СФМ в 3,5...4 раза превышают ПДК (со стороны чистовых форм). Акролеина в воздушной среде не обнаружено. Это, по видимому, объясняется новым составом смазки «Клинмолд» №170 фирмы «Elna», в составе которой графит, минеральное масло и сера, а также небольшим количеством сгораемой смазки (за смену сгорает 1 кг на стеклоформирующем автомате).

Результаты измерений были обработаны на ПЭВМ с учетом уровня доверительной вероятности 0,95.

Таким образом, даже при работе современного стеклоформирующего оборудования условия труда операторов продолжают оставаться неблагоприятными. И несмотря на отсутствие в рабочей зоне акролеина (промышленный яд 2-го класса опасности), загазованность минеральными маслами значительно превышает установленную ГОСТ ССБТ 12.1.005-88. ( $19 \text{ мг/м}^3$  при ПДК  $5 \text{ мг/м}^3$ ). Необходим комплекс оздоровительных мероприятий в машинно-ванном цехе и, прежде всего, на рабочем месте оператора СФМ.

Предложено обсудить и отправить на техническую проработку вопрос оборудования местной вытяжной вентиляцией по всей длине СФМ, а непосредственно на рабочее место подавать приточный охлажденный воздух (воздушное душирование). Для предупреждения вредного воздействия шума использовать заглушки из органической ваты ФПП-Ш «Беруши» или антифоны марки «ВЦНИИОТ-4А», которые наиболее эффективны по защите от звуков высокой частоты. Для восстановления процесса терморегуляции в организме работающих необходимо оборудование в бытовых помещениях комнаты с радиационным охлаждением.

В настоящее время предложения приняты администрацией предприятия для устранения недостатков.

## Секция 5

# МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

**Н.В. Береговая, Е.А. Гольцова, В.П. Умнов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### ФОРМИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛАЗЕР-РОБОТА

Предлагается методика формирования исполнительной кинематической цепи технологического лазер-робота, состоящего из двух манипуляторов: серийного транспортного манипулятора и кинематически связанного с ним манипулятора оптики.

Задачи формирования исполнительной кинематической цепи лазер-робота заключаются в следующем: выбор кинематической структуры серийного транспортного робота, исходя из вида рабочей зоны манипулятора оптики и относительного расположения манипуляторов; определение координат расположения транспортного манипулятора по отношению к манипулятору оптики; проверка возможности реализации заданной ориентации сфокусированного отрезка луча и траектории движения точки фокуса при согласованном движении манипуляторов.

Свяжем с некоторой точкой, например с центром первой кинематической пары, манипулятора оптики инерциальную правую систему координат  $X_L Y_L Z_L$  как показано на рисунке.

Аналогично с транспортным манипулятором свяжем неподвижную систему координат  $X_T Y_T Z_T$ . Точкам  $A$  и  $B$  поставим в соответствие свои системы координат, направив оси  $Z_A$  и  $Z_B$  вдоль сфокусированного отрезка луча. Запишем очевидное векторное соотношение:

$$R_{LT} = R_{LB} - R_{TB} = R_{LA} + R_{AB} - R_{TB}.$$

Используя однородные координаты, запишем это выражение в матричном виде:

$$M_{LT} = T_{LB} \cdot M_{TB}^{-1},$$

где  $T_{LB} = M_{LA} \cdot M_{AB}$ .

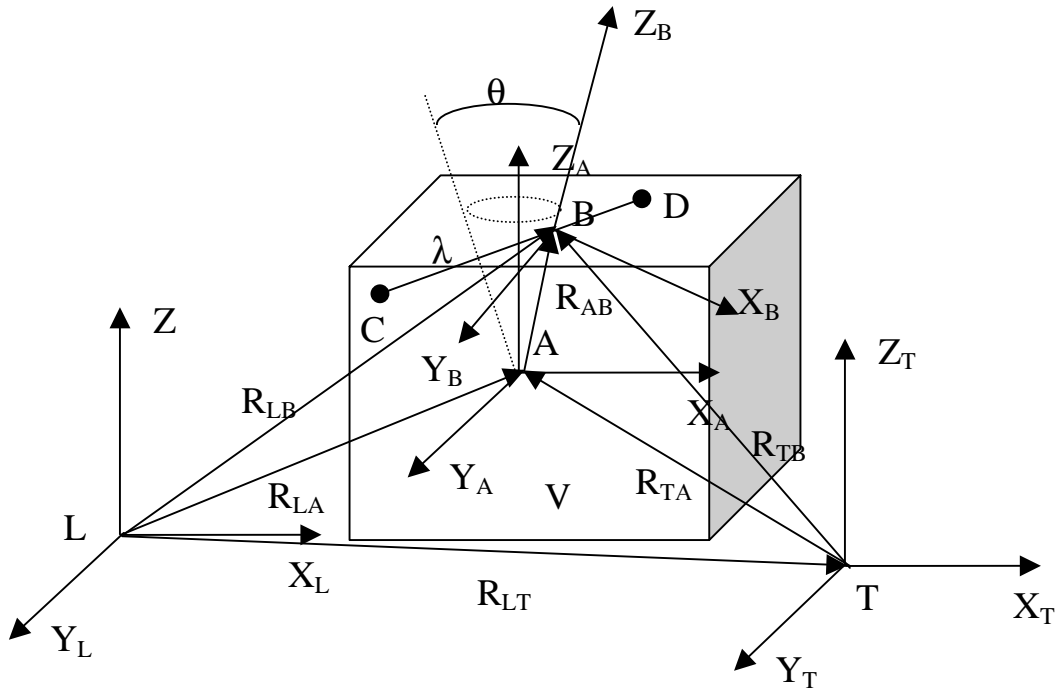
Матрица  $M_{LT}$  имеет следующий вид:

$$M_{LT} = \begin{vmatrix} E & (R_{LT}^X R_{LT}^Y R_{LT}^Z)^T \\ 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Обозначим  $\alpha = 0,5\theta$  и определим матрицу  $M_{AB}$ .

$$M_{AB} = \begin{vmatrix} C\alpha & 0 & S\alpha & AB S\alpha \\ S^2\alpha & C\alpha & -0.5S\theta & -AB S\alpha C\alpha \\ -0.5S\theta & S\alpha & C^2\alpha & AB C^2\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

где  $C - \cos$ ;  $S - \sin$ ;  $AB -$  модуль вектора  $R_{AB}$ .



*Расположение транспортного манипулятора по отношению к манипулятору оптики*

Поскольку мы рассматриваем общий случай, то известную матрицу  $M_{LA}$  также запишем в общем виде:

$$M_{LA} = \begin{vmatrix} \cos(L, \hat{A}) & (R_{LA}^X R_{LA}^Y R_{LA}^Z)^T \\ 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Здесь  $\cos(L, \hat{A})$  – матрица размером  $3 \times 3$  направляющих косинусов углов Эйлера.

Вид и содержание матрицы  $M_{TB}$  определяется конфигурацией  $\{G_T\}$  транспортного манипулятора и положением т.  $B$ . Возможны два варианта и, соответственно, два алгоритма формирования матрицы  $M_{TB}$ :

- при известной и однозначной конфигурации  $\{G_T\}$  транспортного манипулятора;

- при возможности выбора конфигурации  $\{G_T\}$  из некоторого множества  $\{G_K\}$ ,  $K = \overline{1, M}$  (например, находящегося в базе данных о серийных роботах).

При первом варианте последовательность формирования матрицы  $M_{TB}$  следующая:

1. Ориентировочно задаем координаты т.  $T$  в системе координат т.  $L$ .
2. Определяем координаты характерных граничных точек рабочей зоны в координатах т.  $T$  по выражению

$$R_{TA_i} = T_{TL} \cdot R_{LA_i},$$

где  $T_{TL} = M_{LT}^{-1}$ ,  $R_{LA_i}$  – координаты  $i$  точек ( $i = \overline{1, K}$ ), характеризующих границы рабочей зоны.

3. Точкам  $A_i$  ставим в соответствии точки  $B_i$ , исходя из заданной ориентации луча и угла  $\theta$ .
4. Определяем координаты точек  $B_i$  по выражению

$$R_{TB_i} = R_{AB_i} \cdot R_{TA_i}.$$

5. По величине модулей вектора  $R_{TB_j}$  определяем координаты  $B_j$  ( $j \in i$ ) точек, характеризующих диапазоны перемещений в степенях подвижности транспортного манипулятора.
6. Определяем диапазоны перемещений в степенях подвижности  $q_{Tl}$ , ( $l = \overline{1, K}$ ) с учетом определенного запаса  $\Delta q_{Tl}$  по каждой обобщенной координате.
7. Уточняем положение т.  $T$  по отношению к рабочей зоне. При этом проверяем условие

$$q_{Tl} + \Delta q_{Tl} \leq \lfloor q_{Tl} \rfloor,$$

где  $\lfloor q_{Tl} \rfloor$  – допустимое перемещение в  $l$ -й обобщенной координате.

8. Формируем матрицу  $M_{TB}$ .

При втором варианте задача формирования матрицы  $M_{TB}$  решается по алгоритму, описанному выше для каждой  $\{G_K\}$ ,  $K = \overline{1, M}$  конфигурации. При отсутствии дополнительных ограничений целесообразно выбрать ту конфигурацию  $\{G_T\}$  ( $T \in K$ ), при которой модуль вектора  $R_{TL}$  будет иметь минимальную величину. Отметим, что при втором варианте мы, фактически, решаем первую из задач, поставленных в начале раздела.

После определения матрицы  $M_{TB}$  и ее обратной вычисляем координаты т.  $T$  в системе координат т.  $L$ .

**О.В. Веселов, А.Н. Никашкин, А.О. Веселов, С.А. Воеводин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО ИМПУЛЬСНОМУ ВХОДНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ**

Проектирование новых электрических машин (ЭМ) и эксплуатация разработанных устройств неизбежно наталкиваются на проблемы, связанные с отсутствием в справочной литературе тех или иных параметров или характеристик. Кроме того, если и есть необходимые параметры, то степень их достоверности низка, т.к. приводятся усредненные значения параметров. При этом зачастую, вводятся предположения о величине параметров, результаты которых предсказать нетрудно. Заметим также, что применявшийся долгие годы метод расчетов электромеханических систем по каталожным данным отдельных элементов не всегда дает удовлетворительные результаты из-за значительного разброса или отсутствия технических характеристик.

Альтернативой сложившейся ситуации может быть компьютерная диагностика, способная решить широкий круг задач, связанных с получением характеристик и параметров на основе измерений и современных методов идентификации.

В такой постановке вопроса, важной становится задача анализа объекта с позиции протекающих в нем физических процессов, которые ложатся в основу математического описания, необходимого для выполнения процессов параметрической диагностики. Принципиальным является то обстоятельство, что любая электрическая машина может быть описана с единой позиции. А это позволяет математическое описание, представленное для обобщенной электрической машины, путем соответствующих преобразований, распространить на ЭМ любого типа.

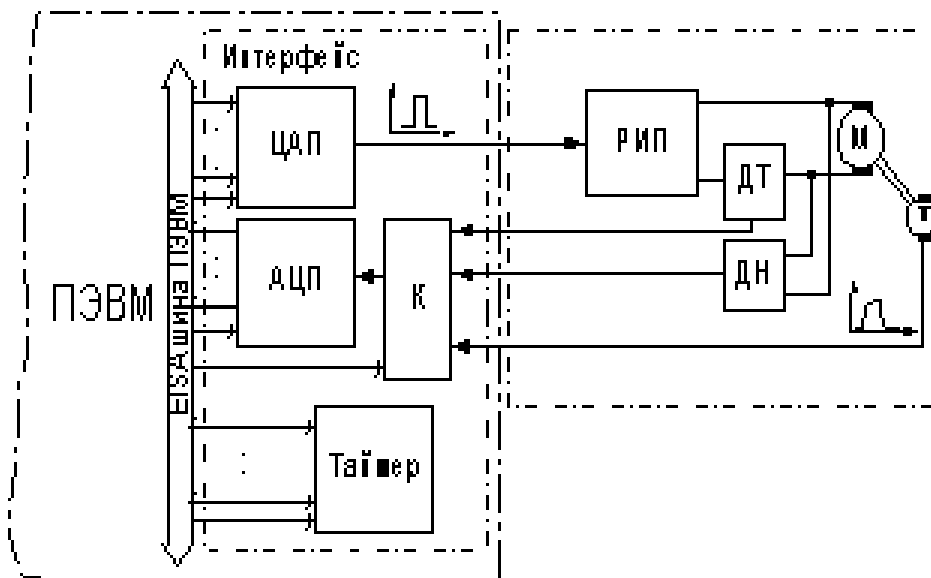
Указанный подход характерен для любого электромеханического объекта, включая и электрические машины малой мощности. ЭМ, не смотря на свою внешнюю простоту, все же является сложным мехатронным устройством, в котором электрические сигналы преобразуются в поток механической энергии, т.е. осуществляется связь механического движения привода с электрическими процессами. Эта связь объединяет механическую и электрическую части электропривода в единую электромеханическую систему.

Предлагаемый метод позволяет получать параметры двигателя как при стендовых испытаниях, так и на работающем оборудовании. Суть метода заключается в следующем. На вход привода или на управляемый вы-



прямитель, питающий якорь электродвигателя, подается входной сигнал прямоугольной формы. С датчика скорости (обычно это тахогенератор, встроенный в электрическую машину) снимается сигнал и записывается в память микроЭВМ. Одновременно записываются реализации тока и напряжения якоря. Полагая, что параметры входного сигнала известны, т.к. формируются диагностическим комплексом, выполняем разложение входного и выходного сигналов в ряд Фурье. Причем разложение входного сигнала в ряд выполняется заранее. Затем берем отношение амплитуд спектра сигналов, на соответствующих частотах и получаем амплитудно-частотную характеристику. Аналогичные преобразования выполняются для получения фазовой характеристики.

Структурная схема стенда, реализующая процедуру диагностики, представлена на рисунке. Стенд состоит из компьютера, интерфейса, регулируемого источника питания (РИП), датчика тока (ДТ), датчика напряжения (ДН) и датчика скорости (ТГ).



*Структурная схема диагностического стенда*

Схема работает следующим образом. На управляющий вход регулируемого источника питания подается сигнал, разрешающий подачу напряжения на испытуемый двигатель. Одновременно компьютер с использованием аппаратуры интерфейса производит преобразование сигналов в цифровой код и сохраняет их значения в памяти. Процедура ввода информации выполняется циклически до тех пор, пока не завершится время, установленное для этой процедуры.

В состав интерфейса входят: двенадцатибитный аналого-цифровой преобразователь, на входе которого установлен коммутатор; цифро-аналоговый преобразователь, выполняющий функции формирователя сти-

мулирующих сигналов произвольной формы; таймер – формирующий временные интервалы, обеспечивающие ввод необходимого объема измерительной информации. Для управления электродвигателем используется усилитель мощности, представляющий собой регулируемый источник постоянного напряжения управляемый от компьютера. В качестве датчика тока используется стандартный шунт с выходным напряжением (при максимальном токе), равным 75 мВ. Для измерения напряжения на якоре используется операционный усилитель и делитель напряжения.

Обработка информации выполняется по программе, оформленной в виде оболочки и состоящей из программ управления и ввода информации, а также программ обработки вводимой информации и программ идентификации параметров электромеханического преобразователя.

Программное обеспечение идентификации включает в себя определение постоянных времени на основе амплитудно-частотных характеристик и параметров, характеризующих конструктивные характеристики, на основе измерения тока и напряжения якоря двигателя и скорости вращения ротора.

Разработанное программное обеспечение позволяет оценивать параметры, указанные в таблице.

*Основные параметры электрических машин*

№ п/п	Параметр двигателя	Обозначение	Единица измерения
1	Номинальное напряжение (максимальное)	$U_H (U_{max})$	В
2	Номинальный (максимальный) ток	$I_H (I_{max})$	А
3	Номинальная (максимальная) частота вращения	$\omega_H (max)$	рад/с
4	Номинальный (максимальный) момент	$M_H (max)$	Н·м
5	Коэффициент Э.Д.С.	$C_e$	В/с <sup>-1</sup>
6	Коэффициент момента (вязкого демпфирования)	$C_M$	Н·м/с <sup>-1</sup>
7	Сопротивление цепи якоря	$R_a$	Ом
8	Индуктивность цепи якоря	$L_a$	Гн
9	Электрическая постоянная	$T_\Delta$	мс
10	Механическая постоянная	$T_M$	мс
11	Момент инерции	$J$	Н·м <sup>2</sup>
12	Ускорение	$a$	рад/с <sup>2</sup>

**А.А. Глушков, С.Н. Сысоев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ МАНИПУЛЯЦИОННОГО МЕХАНИЗМА С РЕКУПЕРАЦИЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО ВЕЛИЧИНЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА С ЖЕСТКИМ УПОРОМ**

Значительная часть технологических процессов, реализуемые на автоматизированном оборудовании, осуществляются всегда при одних и тех же условиях, исполнительные органы совершают вполне определенные и неизменные движения относительно изделия. Требуемая последовательность повторяемых перемещений исполнительных органов достигается за счет работы простейших привода циклического действия. Зачастую увеличение эффективности такого оборудования связано с повышением скоростей вспомогательных движений исполнительных механизмов оборудования и, следовательно, повышением мощностей приводов.

Представляется целесообразным в таких ситуациях использовать манипуляционные механизмы «резонансного типа», построенные на основе модулей вращательного и поступательного типа привода с рекуперацией механической энергии. В таких приводах удается одновременно повысить скорость движения исполнительных звеньев и значительно снизить потребляемую мощность привода. Однако с увеличением быстродействия ужесточаются требования к прочностным и энергопоглощающим характеристикам упоров – фиксаторов.

Устройство позиционирования и подпитки энергии таких приводов требуют точной настройки и не допускает значительных отклонений многочисленных параметров ПР, к которым относятся и масса перемещаемых ПР предметов, нестабильность сил трения, значительные динамические нагрузки, связанные с резким изменением ускорения движения исполнительного органа. Традиционно снижение динамической ошибки достигается путем охвата привода обратной связью.

Решение подобной задачи примыкает к известной проблеме конструирования регуляторов. Подобный подход, основанный на построении стабилизирующего регулятора для компенсации рассогласования между эталонным движением, задаваемым от программного устройства, и реально наблюдаемым движением, описан в [1].

В приводе [2] упоры – фиксаторы выполнены в виде постоянных магнитов, имеющие сложный вид силовой характеристики. Подача энергии в колебательную систему происходит не в процессе движения, а одновре-

менно с расфиксацией ИО в виде импульса магнитных сил и в момент подхода к точке позиционирования. Поэтому затруднительна реализация традиционного способа снижения динамической ошибки.

Для компенсации динамической ошибки привода предлагается измерять величину контактного импульса, передаваемого фиксатору от подвижного органа и использовать полученную информацию в следующем цикле движения, для изменения  $M(\varphi)$ . Расчетная схема привода изображена на рис. 1.

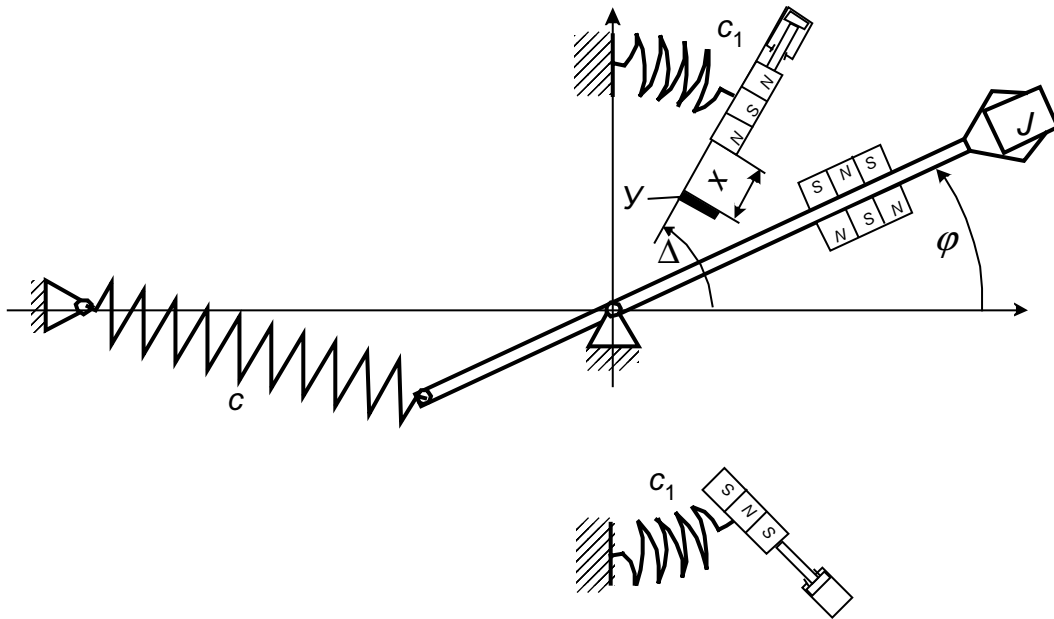


Рис. 1. Расчетная схема привода

Характеристика привода подкачки энергии будет описываться системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} J\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + F(\varphi) = M(\varphi, x), \\ m\ddot{x} + c_2x = (P - P_A)S, \end{cases} \quad (1)$$

движение ИО – системой

$$\begin{cases} J\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + F(\varphi) = M(\varphi), \\ m\ddot{\Delta} + b_1\dot{\Delta} + c_1\Delta = F(\Delta) \end{cases} \quad (2)$$

и движение ИО на упоре – уравнением (3)

$$(J + m)\ddot{\Delta} + (b_1 + b)\dot{\Delta} + c_1\Delta + F(\varphi) = 0, \quad (3)$$

где  $J, m$  – моменты инерции ИО и упора соответственно;  $F(\varphi)$  – упругая характеристика пружины  $c$ ;  $b, b_1$  – коэффициенты вязкого трения движения ИО и упора соответственно;  $P$  – давление воздуха в цилиндре;  $P_A$  – атмосферное давление;  $S$  – площадь сечения поршня;  $\varphi, x, \Delta$  – обобщенные координаты ИО, ход привода подкачки до управляемого упора  $U$  и движение ИО на устройстве позиционирования соответственно.

Математически задачу можно сформулировать следующим образом: необходимо найти характеристику  $x = f(\dot{\phi}_-)$ , реализующую процесс, описываемый уравнениями (1) – (3) и минимизирующей скорость выхода ИО  $\dot{\phi}_-$  на упор.

Решение системы (1) – (3) производилось последовательно с помощью стандартной функции **ode45** математического пакета Matlab 5.2. Данная функция реализует метод Рунге–Кутты четвертого порядка с контролем величины шага методом пятого порядка.

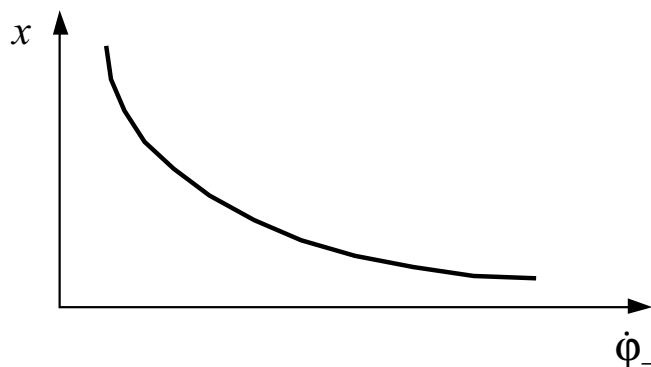


Рис. 2. Вид характеристики

Качественный вид полученной функции изображен на рис. 2 и близок к виду экспоненциальной функции, что облегчает практическую реализацию данного способа управления приводом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывис Л.И. и др. Манипуляционные системы роботов. – М.: Машиностроение, 1983. – 472 с.
2. Сысоев С.Н., Глушков А.А. Привод промышленного робота с рекуперацией энергии / Станки и инструменты. – 1996. – №6.

**И.Н. Егоров, В.П. Умнов, Е.А. Гольцова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### ПОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАЗЕР-РОБОТОВ

В различных роботизированных технологических процессах осуществляется определенное многообразие манипуляционных функций, выполняемых роботом и совокупностью других технических устройств. В связи с развитием в робототехнике тенденции универсализма перспективно использование многофункциональных роботов, выполняющих максимально

возможное число манипуляционных функций в рассматриваемом технологическом процессе.

В роботизированных процессах лазерной обработки многофункциональный лазер-робот (МЛР) может выполнять широкую номенклатуру основных и вспомогательных операций. К числу основных операций относятся:

- подготовка поверхности к обработке (зачистка, нанесение поглощающих покрытий, удаление препятствий);
- обработка изделия (термообработка, резка, сварка, сверление отверстий).

К вспомогательным операциям следует отнести:

- контрольно-измерительные (определение параметров обрабатываемой поверхности при её незаданности, определение положения объектов обработки при его неопределенности, контроль качества поверхностей и выполняемых работ);
- перемещение и удержание объектов.

На основании вышеизложенного и анализа различных технологических операций обобщенную структуру МЛР можно представить в виде рис. 1.

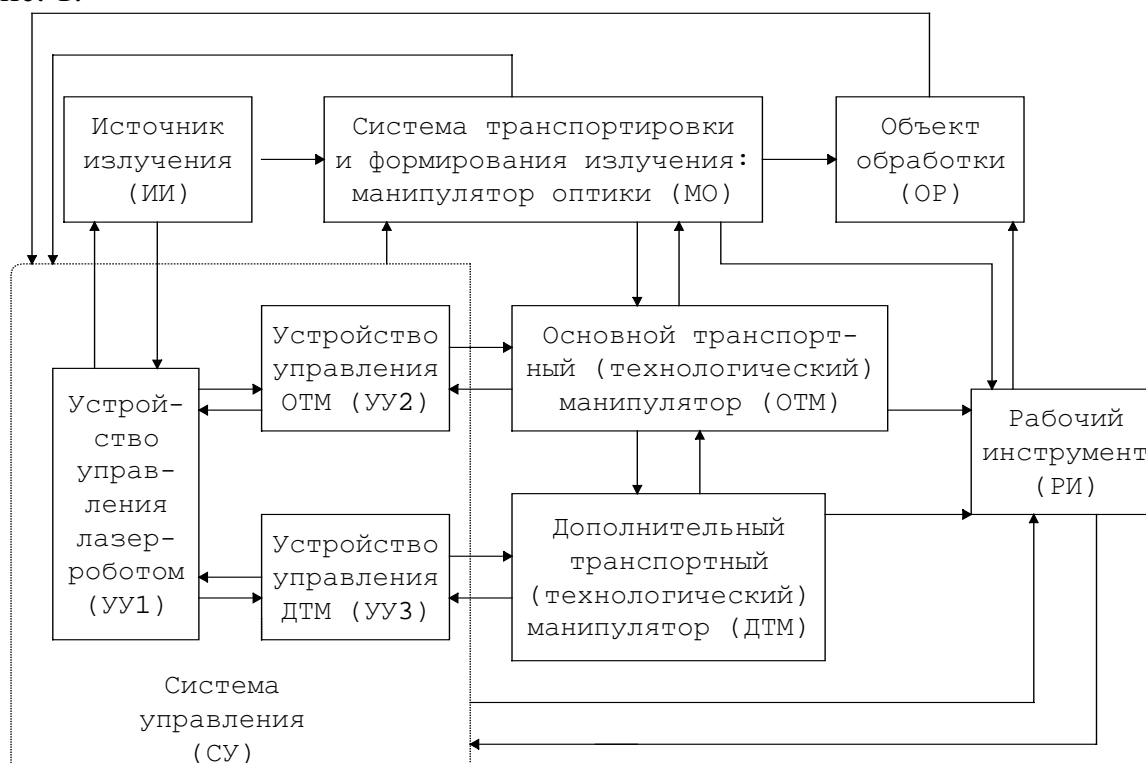


Рис. 1. Обобщенная структура многофункционального лазер-робота

В качестве манипуляторов могут быть использованы манипуляторы специального и специализированного назначения со встроенным МО в ОТМ, либо манипуляторы серийных транспортных роботов. При этом вза-

имное расположение манипуляторов может быть параллельным раздельным, последовательным раздельным, параллельным совмещенным и комбинированным. Организационно-технологическое построение МЛР может быть централизованным, децентрализованным и комбинированным.

МЛР на исполнительном уровне является сложной взаимосвязанной динамической системой манипуляторов, рабочих инструментов и объекта обработки. В соответствии с рис. 1. на рис. 2 представлена обобщенная схема взаимосвязей в этой динамической системе.

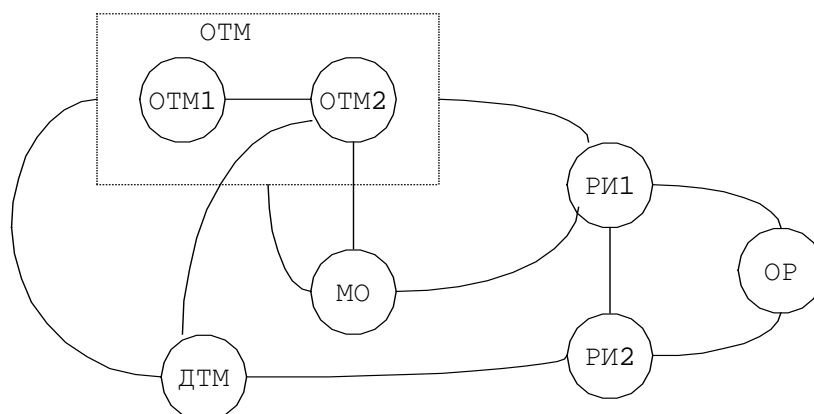


Рис. 2. Схема взаимосвязей в обобщенной динамической системе манипуляторов, рабочих инструментов и объекта обработки

Взаимосвязи между компонентами рассматриваемой системы имеют характер позиционных кинематических оптических связей и силовых взаимодействий. При этом кинематические связи и силовые взаимодействия взаимообусловлены, а последние имеют двунаправленный характер.

При решении задач компенсации взаимовлияния, стабилизации ориентации рабочего органа (РО), взаимосвязанного перемещения двухманипуляционных исполнительных устройств, обеспечения инвариантности к нестационарности параметров, применяется согласованное робастное или модальное позиционно-силовое управление и регулирование (ПСУ и Р) с позиционным доминированием и дополнительными силовыми связями.

Ограничения на переменные состояния системы, сочетание в одной технологической операции вспомогательных и технологических переходов нарушает непрерывность процесса позиционно-силового управления и регулирования, делая его принципиально разрывным управлением, реализуемым в классе систем с переменной структурой.

На первом этапе управления несвободным движением, характеризующимся нестационарностью и неопределенностью взаимодействия РО с объектом работ (ОР), реализуется независимое робастное ПСУ и Р с неявным переключением структуры. При существенном различии позиционной и силовой компонент взаимодействия РО с ОР применяется независимое (раздельное) ПСУ и Р с явным переключением структуры. В общем случае

ПСУ и Р представляет собой комбинацию независимого и согласованного управлений на основе применения программных или аппаратных средств, реализующих логические переключательные функции или диагональные матрицы выбора. При этом эффективно решаются, например, задачи обеспечения двух-трехзонного координатного регулирования, управления юстировкой лазер-роботов, разгрузки исполнительных устройств и управления техническими системами по принципу «ведущий-ведомый» как при идентичности, так и неидентичности их кинематических структур.

В условиях нестационарности состояния или смены состояния технических систем одно- и двухканальные системы согласованного ПСУ и Р с аддитивными или (и) мультипликативными силовыми обратными связями, а также системы независимого ПСУ и Р с синхронизирующими логическими переключающими устройствами и перекрестными связями реализуются в классе адаптивных систем с сигнальной или (и) параметрической самонастройкой и логического ситуационного управления. Неопределенность или неполнозаданность взаимодействия РО с ОР приводит к необходимости интеллектуального ПСУ и Р, позволяющего, в частности, решить проблемы позиционно-силового программирования и разработки стратегии отслеживания перемещения РО по поверхности ОР без обучения на основе её идентификации и адаптивном полуавтоматическом управлении.

**Е.В. Еропова, С.Н. Сысоев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАКУУМНОГО ЗАХВАТНОГО МОДУЛЯ**

В автоматизированных производствах для обслуживания высокопроизводительного технологического оборудования достаточно широко применяются цикловые манипуляционные механизмы. Целесообразность их применения обусловлена как простотой конструкции и системы управления, так и возможностью их быстрой переналадки в соответствии с требуемыми технологическими процессами. Однако в данных автоматизированных системах вспомогательное время часто на порядок превышает время выполнения основных технологических операций. Поэтому в настоящее время актуальной является проблема качественного повышения быстродействия работы механизмов загрузки-разгрузки основного технологического оборудования. Решение данной проблемы требует системного подхода, включая разработку высокоэффективных принципов и методов нахождения технических решений, структурные и параметрические исследования с разработкой принципиально новых технологий и устройств.



На базе метода исследования функционально-физических связей (МИФФС) [1] получены новые способы и устройства позиционирования рабочих органов на жесткий упор [2], суперскоростные цикловые приводы линейного и углового типа [3, 4], структурные решения захватных устройств [5], позволяющие почти на порядок повысить быстродействие манипуляционных механизмов загрузки-разгрузки основного технологического оборудования в целом.

В захватном устройстве, представленном на рис. 1, реализовано функциональное управление, за счет чего возможна автоматическая установка уровня опускания захватного устройства, высокое быстродействие выполнения операций захвата и установки заготовки, контроль наличия заготовки в схвате. Функции взятия и установки детали выполняются от двух внешних сигналов управления «взять», «установить» вместо традиционных шести. Время выполнения функции «взять» – 0,25 с, функции «установить» – 0,15 с.

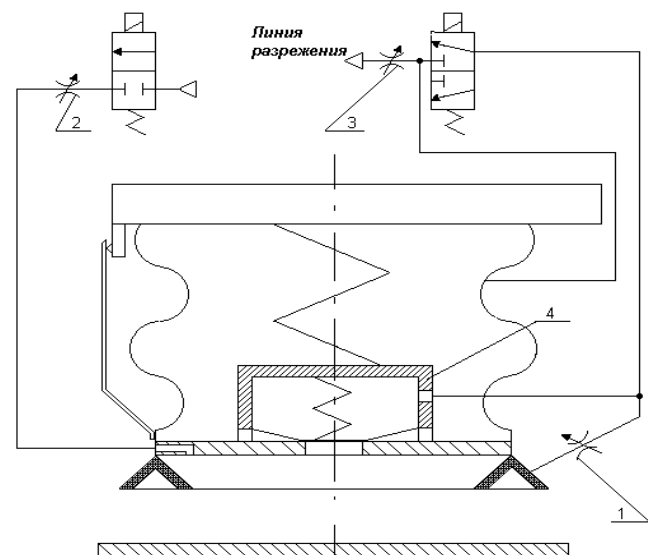


Рис. 1. Пневмосхема вакуумного захватного модуля

В процессе математического моделирования проведена оптимизация данного устройства по быстродействию. Оптимизируемыми параметрами являлись коэффициенты дросселей 1, 2, 3 и клапана 4. Масса захватываемого объекта – 0,1...0,2 кг.

Проведенные исследования показали, что быстродействие устройства не является максимальным, и существенное влияние на него оказывают параметры исследуемых дросселей.

Анализ всех полученных в ходе исследования результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Диаметр проходного сечения дросселя 1 на динамику переходного процесса не влияет.

2. Возможность выполнения операции «установить» зависит от диаметра проходного сечения дросселя 2 при прочих равных условиях.

3. Величина диаметра проходного сечения дросселя 2 оказывает влияние на возможность и время выполнения только операции «установить».

4. С увеличением диаметра проходного сечения дросселей 2 и 3 расширяется область устойчивой работы устройства.

5. Область устойчивой работы устройства в целом ограничивается значением проходного сечения дросселя 3, уменьшение которого влияет на возможность выполнения операции «установить».

6. Диаметр проходного сечения дросселя 3 оказывает существенное влияние на возможность и время выполнения операции «установить» и на выполнение операции «взять» в более широком диапазоне изменения диаметра клапана 4.

7. Существуют граничные значения диаметров проходного сечения дросселя 3 и клапана 4 в области, после которых при дальнейшем их уменьшении время переходного процесса остается постоянным, а расширяется лишь зона устойчивой

работы устройства.

8. С увеличением проходного сечения клапана 4 становится возможным выполнение операции «взять».

9. Диаметр проходного сечения клапана 4 на выполнение операции «установить» не влияет.

На основании вышеизложенного и анализа всех полученных в ходе оптимизации результатов выявлен диапазон оптимальных значений диаметров дросселей и клапана в зоне устойчивой работы устройства (рис. 2).

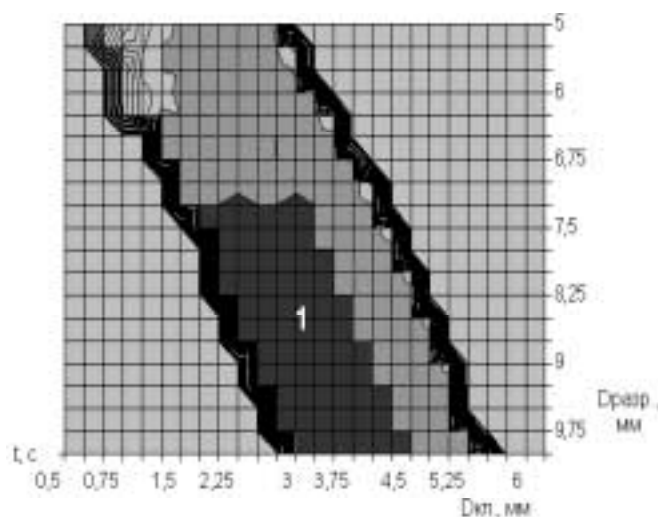


Рис. 2. Зона устойчивой работы захватного устройства: 1 – область максимального быстродействия при выполнении операции «взять».

В результате проведенных исследований можно дать конкретные рекомендации по выбору параметров исследуемых дросселей. При данных параметрах время выполнения операции «взять» составляет 0,08 с, операции «установить» – 0,07 с.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сысоев С.Н. Нахождение технических решений методом исследования функционально-физических связей // Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды IV Междунар. конгресса. – Москва: СТАНКИН, 2000. – Т. 2. – С. 185–187.

2. Патент РФ № 992126. Способы позиционирования подвижного исполнительного органа // С.Н. Сысоев, Ю.В. Черкасов (РФ).
3. Патент РФ № 1664546. Модуль линейного перемещения // С.Н. Сысоев, Ю.В. Черкасов (РФ).
4. Патент РФ. Механическая рука // С.Н. Сысоев, Ю.В. Черкасов, А.А. Глушков, М.М. Трофимов (РФ).
5. Патент РФ № 1202879. Вакуумное захватное устройство // С.Н. Сысоев, Ю.В. Черкасов (РФ).

**А.В. Жданов, Хайдар Дуери**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

### **ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОНОБЛОЧНЫХ ПРИВОДОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

К приводам управления технологическим оборудованием предъявляются повышенные требования по многим характеристикам, к которым относятся надежность (до 0,99), долговечность (до 10 тыс. часов непрерывной работы), высокий КПД (до 0,9), а также высокая плавность и точность перемещения. Кроме этого, для ряда приводов существенное значение имеют специальные требования: самоторможение при выключенном двигателе, высокое быстродействие и управляемость.

Существующие в настоящее время электромеханические приводы не отвечают всем выше перечисленным требованиям. Нами предлагается использование моноблочных приводов поступательного и вращательного движения в качестве альтернативы к существующим пневматическим и гидравлическим устройствам. Использование вентильных бесконтактных двигателей постоянного тока позволяет повысить их долговечность до 30 тыс. часов работы, увеличить перегрузочную способность привода. Применение планетарных механизмов повышает нагрузочную способность приводов, значительно повышает долговечность и износостойкость. Значительные преимущества имеет и модульный принцип построения таких приводов, а их компактность и функциональность обеспечивают таким устройствам широкое применение. Однако наряду со многими, уже исследованными вопросами остается ряд не исследованных тем, среди которых наибольшее значение имеет изучение кинематических характеристик приводов подобного класса.

Изучение кинематических характеристик и параметров плавности моноблочного рулевого привода осуществляется на двухмассовой математи-

ческой модели, особенностью которой являются следующие характеристики:

- в моноблочной конструкции приводе исполнительный механизм (редуктор) встраивается в ротор двигателя, поэтому за первую массу принимается входное звено исполнительного механизма, за вторую массу – выходное звено редуктора (привода);
- поскольку в приводе осуществляется жесткая связь ротора с выходным звеном РВМ, ротор и ведущее звено редуктора являются единой массой, для которой вводится коэффициент утяжеления ротора;
- жесткость исполнительного механизма зависит от кинематических параметров передачи.

По созданной математической модели проводится анализ характеристик плавности и точности перемещения как в системах с сухим трением, так и в системах с люфтом в передаче. Это позволяет сформулировать требования к параметрам вентильного двигателя двигателю по мощности, потребляемой энергии, а также кинематические требования к исполнительному механизму. Эти данные являются исходными для проектирования конструкции рулевого привода.

Проектирование моноблочных рулевых приводов систем управления проводится в несколько этапов. Появление современных систем проектирования позволяет осуществлять конструирование таких изделий в значительно меньшие сроки, чем это было раньше.

*1 этап.* Моделирование кинематических характеристик привода.

Основываясь на полученных ранее результатах, проводится эскизная проработка конструкции привода и его основных деталей, выбираются тип и схема исполнительного механизма. По известным проектировочным методикам осуществляется расчет основных элементов конструкции.

*2 этап.* Создание конструкции привода.

Конструирование рулевого привода осуществляется в САД-системах, таких как Pro/ENGINEER, SolidWorks, Catia и т. д. Исходными данными являются конструкции отдельных элементов, которые моделируются в виде твердых объектов и собираются в узел. При этом выполняются анализы на собираемость изделия, задаются весовые характеристики, объем и т.д. Конечной целью этого этапа является разработка кинематических и геометрических связей в конструкции. Это выполняется в специализированных модулях, позволяющих оценивать параметры кинематики движения приводов (Pro/STRUCTURE).

*3 этап.* Уточненный расчет прочностных и усталостных характеристик привода. На этом этапе отдельные элементы привода разбиваются на конечные элементы, к объекту прикладываются силы и опоры, корректи-

руются материал и форма детали при расчетных нагрузках, рассматриваются поля напряжений и деформаций в различных случаях нагружения, выясняются усталостная и динамическая прочность.

*4 этап.* Корректировка конструктивных решений. На основе полученных ранее результатов в конструкцию привода вносятся изменения, выполняются чертежи деталей и узла, схемы и спецификации.

Принятый порядок проектирования рулевых приводов апробирован на основе системы сквозного проектирования Pro/ENGINEER, получены конструкции и комплекты документации для различных вариантов приводов управления технологическим оборудованием.

**А.В. Ифанов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ И СТРУКТУРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Процесс роботизированной лазерной резки характеризуется значительными трудностями в управлении его технологическими параметрами при необходимости достаточно строгого соблюдения взаимного расположения рабочего инструмента (оптической головки) и объекта обработки. В этих условиях управление лазер-роботом целесообразно строить с использованием моделей технологических операций.

Известные математические описания процесса лазерной резки металлов не могут быть непосредственно применены при решении задач управления движением лазерного луча при обработке.

Это связано с тем, что, рассматривая теплофизические параметры процесса газолазерной резки, авторы углубляются в исследование и моделирование тех параметров, которые необходимы при разработке лазерных систем, но не являются определяющими для задач управления.

Анализ модели [1] показывает, что механизм образования реза при низких и высоких скоростях резки оказываются различными. Он характеризуется прерывистостью процесса разрушения металла вглубь реза.

Скорость движения оптической головки относительно обрабатываемого материала при условии гарантированного прорезания при непрерывном и прерывистом процессе разрушения может быть представлена в виде системы:

$$\begin{cases} v_p^n = \frac{(2r_f - x_0)v_0^n}{h}; \\ v_p^n = \frac{x_s v_0^n + (2r_f - x_0)v_0^n}{h}. \end{cases}$$

Любое отклонение манипулятора от заданной траектории движения приведет к изменению формы и площади пятна сфокусированного лазерного излучения и, соответственно, к изменению плотности потока тепловой энергии, подаваемой в зону реза.

Сделаем допущение: в пределах некоторого  $\delta z_f$  изменение площади пятна сфокусированного лазерного излучения не приводит к существенному изменению плотности потока тепловой энергии и может не учитываться. В этом случае площадь пятна сфокусированного лазерного излучения может быть найдена из выражения:

$$S = \begin{cases} \left( \pi |z_f - L|^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\gamma}{2} \right) \cos^{-1} \varphi & \forall |z_f - L| \geq \frac{\delta z_f}{2}; \\ \left[ \pi r_f^2 \right] \cos^{-1} \varphi & \forall |z_f - L| < \frac{\delta z_f}{2}, \end{cases}$$

где  $L$  – длина луча, то есть расстояние от центра фокусирующей линзы до обрабатываемой поверхности.

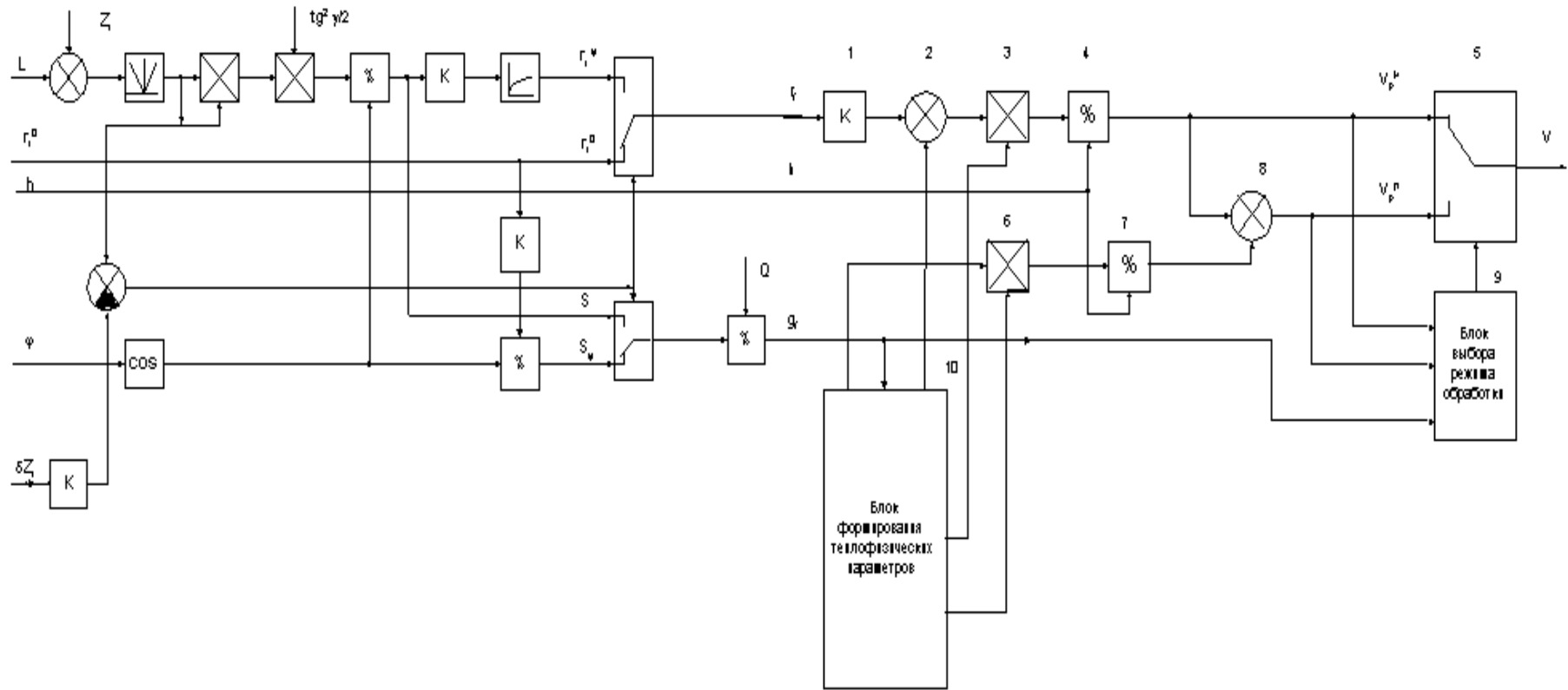
С учетом вышеизложенного структурная схема модели газолазерной резки приобретает вид, представленный на рисунке.

Математическая модель представляет собой нелинейную динамическую систему с переменной структурой, входными параметрами которой являются толщина разрезаемого металла, радиус кругового пятна лазерного излучения на обрабатываемой поверхности, теплофизические параметры обрабатываемого материала. Выходной параметр – контурная скорость перемещения оптической головки при условии гарантированного прорезания материала.

Предлагаемую математическую модель можно использовать в системе управления лазер-роботом в качестве эталонной модели технологического процесса лазерной резки металлов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.



Структурная схема модели лазерной резки с учетом изменений площади пятна сфокусированного лазерного излучения

**А.А. Кобзев***Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## МОДИФИКАЦИЯ ЧЕТВЕРТОЙ ФОРМЫ ИНВАРИАНТНОСТИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Цель управления для многих типов технологического оборудования машиностроения состоит в обеспечении технологического процесса, выполняемого по некоторой заранее заданной или неопределенной траектории с обеспечением требуемого вектора усилия при внешних флуктуирующих возмущениях. Это станки с ЧПУ, промышленные роботы, выполняющие технологические операции например сварку, сборку, шлифование, и другие виды оборудования.

Для повышения точности системы управления выполняются с инвариантными входами. Введение их основано на реализации второй формы инвариантности. Для обозначенного класса технологических процессов и систем управления возможно построение систем на основе четвертой формы инвариантности, имеющих по сравнению с другими ряд преимуществ [1, 2, 3]. Реализация устройств формирования управляющего воздействия на ПЭВМ или ОМЭВМ открывает новые возможности для эффективного применения четвертой формы инвариантности при построении систем управления для технологического оборудования выделенного типа.

Обратимся к типовой структуре линейной системы с передаточными функциями разомкнутой системы по управляющему  $g(p)$  и возмущающему  $f(p)$  воздействиям соответственно  $W(p)$ ,  $V(p)$ . Рассматриваем процесс движения установившимся, т.е. составляющие, определяемые начальными условиями равны нулю. Ошибка системы  $\delta(p)$  с учетом принципа суперпозиции, справедливого для линейных систем, определяется

$$\delta(p) = \frac{1}{1+W(p)} g(p) + \frac{V(p)}{1+W(p)} f(p), \quad (1)$$

где:  $W(p) = \frac{A(p)}{B(p)}$ ,  $V(p) = \frac{C(p)}{D(p)}$ .

Выражение для ошибки  $\delta(p)$  в строчной форме записи, если представить передаточные функции, входящие в соотношение (1) в виде соответствующих полиномов и с учетом обозначений  $H(p) = A(p) + B(p)$  и  $L(p) = B(p) C(p)/D(p)$ , будет

$$H(p)\delta(p) = B(p)g(p) + L(p)f(p). \quad (2)$$



Принцип инвариантности для ошибки  $\delta(p)$  по отношению к  $g(p)$  и  $f(p)$  сводится к обеспечению равенства нулю правой части уравнения (2). Выполнение этого условия возможно в нескольких вариантах. Для системы (2) они записываются в виде так называемых четырех форм инвариантности [3], которые запишем для обоих видов воздействия - управляющего и возмущающего:

$$1. B(p) \neq 0, g(p) = 0; L(p) \neq 0, f(p) = 0. \quad (3,а)$$

$$2. B(p) = 0, g(p) \neq 0; L(p) = 0, f(p) \neq 0. \quad (3,б)$$

$$3. B(p) \neq 0, g(p) \neq 0, B(p)g(p) = 0; L(p) \neq 0, f(p) \neq 0, L(p)f(p) = 0. \quad (3,в)$$

$$4. B(p) \neq 0, g(p) \neq 0; B(p)g(p) - B_1(p)g_1(p) = 0; \\ L(p) \neq 0, f(p) \neq 0, L(p)f(p) - L_1(p)f_1(p) = 0. \quad (3,г)$$

Универсальной является вторая форма, определяемая уравнениями (3,б). Однако она требует получения  $n$  производных, где  $n$  порядок системы, что при их числе более двух трудно реализуется. Большими возможностями для систем программного управления и следящих систем с медленно изменяющимися параметрами входного и возмущающего воздействий обладает четвертая форма инвариантности, определяемая уравнениями (3,г).

Рассмотрим этот вопрос в следующей постановке. Имеется система с номинальным управлением  $g_0(p)$  и возмущением на объекте  $f_0(p)$ . Последнее обусловлено создаваемым на выходе силовым воздействием при выполнении технологического процесса. По различным технологическим факторам имеется отклонение фактического усилия от расчетного на величину  $\Delta f(p)$ . Необходимо ошибку, обусловленную составляющей  $\Delta f(p)$ , скомпенсировать дополнительным управлением  $\Delta g(p)$ . Иначе, имеем функции управления и возмущения в виде

$$g(p) = g_0(p) + \Delta g(p), f(p) = f_0(p) + \Delta f(p).$$

Для компенсации дополнительного возмущения условие четвертой формы инвариантности здесь запишется

$$L(p)\Delta f(p) - B_1(p)\Delta g(p) = 0. \quad (4)$$

Отметим принципиальное отличие соотношения (4) от (3,г). Классическая трактовка четвертой формы инвариантности предусматривает введение дополнительной составляющей в управление для каждого канала по своему воздействию. Здесь же для парирования возмущения  $\Delta f(p)$  вводится дополнительная составляющая в управляющее воздействие в виде  $\Delta g(p)$ . Назовем такой вариант организации управления как *модификацию четвертой формы инвариантности*.

Выполнение условий *модифицированной четвертой формы инвариантности* для компенсации  $\Delta f(p)$  возможно в следующих вариантах:

1) формировании полинома  $B_1(p)$  при выбранном  $\Delta g(p)$ ;

- 2) формировании управления  $\Delta g(p)$  при выбранном  $B_1(p)$ ;
- 3) выборе произведения  $B_1(p) \Delta g(p)$ .

Техническая реализация условий (4) на программном уровне на сегодняшний день не вызывает каких-либо трудностей.

Наибольший интерес представляет применение *модифицированной* четвертой формы инвариантности, когда дополнительное управление вводится с целью:

- 1) парирования нелинейностей и нежелательных характеристик механической передачи (все виды редукторных приводов);
- 2) адаптации программной траектории к фактической, не совпадающей с ней по различным факторам (промышленные роботы и др.);
- 3) строгого движения исполнительного органа по заданной траектории (станки с ЧПУ, системы слежения за подвижными объектами).

Применение такого управления в технологических системах рассматриваемых типов обусловлены следующими особенностями техпроцесса:

1. Векторная ошибка располагается на траектории и не оказывает влияния на выполняемый технологический процесс (его качество оценивается после завершения всей технологической операции).
2. Процесс жестко не лимитирован во времени.
3. Программное движение детерминировано.

Особенности структурно-алгоритмической реализации таких систем управления рассмотрены в работах [4, 5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андрейчиков Б.И. Динамическая точность систем программного управления станками. – М.: Машиностроение, 1964.
2. Тихомиров Э.Л., Зиньковский А.А. Синтез структур инвариантных устройств воспроизведения программы // Программное управление станками. – М.: Наука, 1975.
3. Проектирование инвариантных следящих приводов // Проектирование инвариантных следящих приводов. – М.: Высшая школа, 1963.
4. Кобзев А.А. Адаптация управляющего воздействия в приводах сборочного робота // Изв. вузов. Электромеханика. – 1991. – № 12. – С. 73–79.
5. Кобзев А.А. Коррекция программного движения в системах управления сборочными роботами // Изв. вузов. Приборостроение. – 1992. – № 3–4. С. 15–20.

**А.А. Кобзев, Н.В. Жарков**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Постоянно повышающиеся требования к точности обработки в свою очередь накладывают более жесткие требования и на все составляющие компоненты технологической системы. При этом следуют в большей степени технологические факторы. Выделим среди них две основные группы: первичные – состояние инструмента, величина припуска и его равномерное распределение по окружности, окружная прочность заготовки, параметры системы СПИД; вторичные – частота вращения привода главного движения и значения скоростей подач относительно эталонных уставок. Первая группа априори задана и не подлежит изменению и коррекции. Вторая группа представляет технологические режимы обработки и материализуется системой управления. Поэтому при рассмотрении вопроса повышения точности следует рассматривать все компоненты технологической системы.

Технологическая система состоит из четырех компонентов: устройства формирования управляющего воздействия (УФУВ или УЧПУ), системы приводов, кинематической системы (КС) и системы СПИД. Комбинированная схема технологической системы приведена на рис. 1.

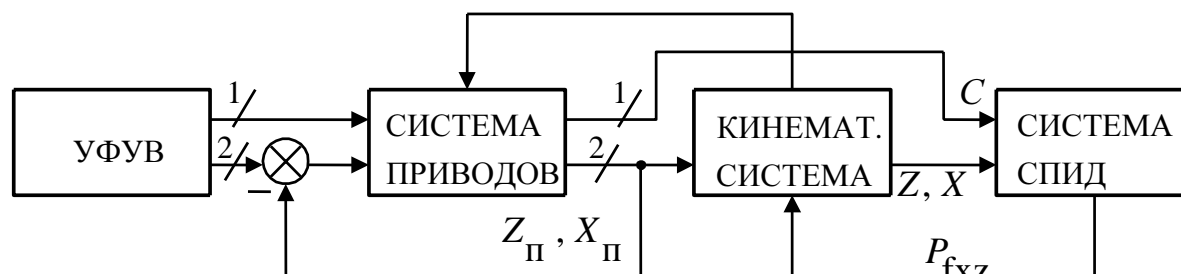


Рис. 1. Комбинированная схема технологической системы

Выделим основные особенности технологической системы, определяющие в дальнейшем предлагаемый подход к одному из вариантов построения структуры, повышающей точность обработки: 1) система представляет четыре последовательно соединенные подсистемы; 2) в прямом тракте имеется три канала передачи геометрической и силовой информации (два привода подачи и привод главного движения); 3) система многосвязная; 4) заданная УФУВ траектория восстанавливается посредством геометрического сложения выходных координат трех приводов, выполняемых кинематической системой; 5) возмущающими факторами, изменяющими заданную от программы геометрическую форму детали, транс-

формированную в регулируемые координаты приводов, являются отмеченные выше факторы первой технологической группы. Последний – седьмой фактор принципиально определяет особенности рассмотрения одного из вариантов повышения точности - система управления не замкнута по цепи главной обратной связи. В процессе обработки не контролируются геометрические параметры детали. Таким образом, здесь два динамических звена – кинематическая система и система СПИД не охватываются обратной связью. Активный контроль динамических характеристик этих звеньев весьма сложен.

Рассмотрим построение системы управления с параллельной моделью процесса резания в контуре управления. Структурная схема системы приведена на рис. 2, где раскрыт канал преобразования информации по одной из горизонтальных координат, например по продольной координате  $Z$ , две другие показаны в виде воздействия на объект регулирования функцией  $P_{fzxc}$ .

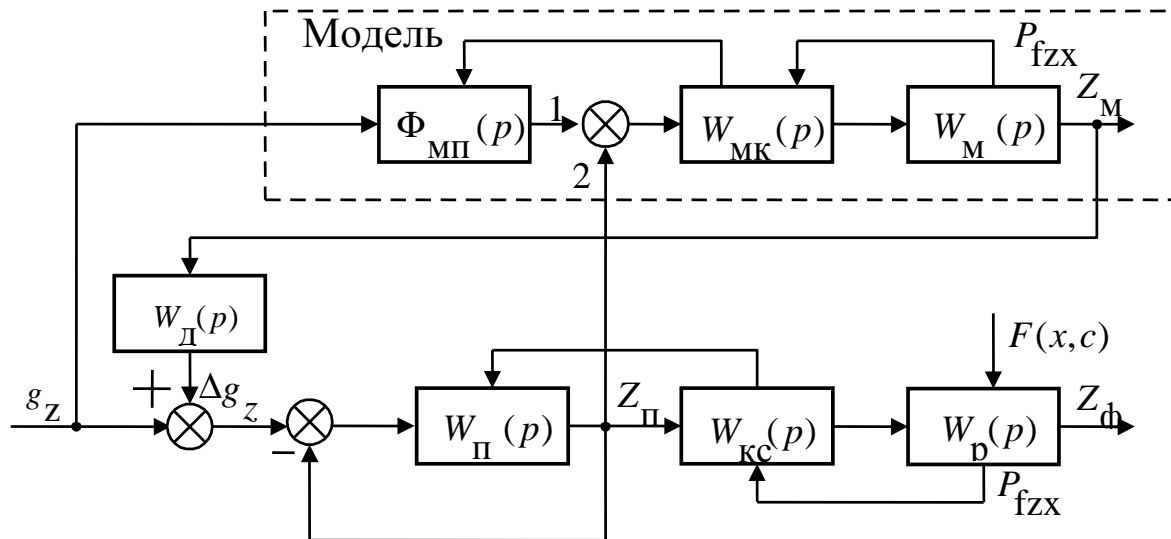


Рис. 2. Структурная схема технологической системы

На схеме приняты следующие обозначения передаточных функций:  $W_{II}(p)$ ,  $W_{КС}(p)$ ,  $W_p(p)$ ,  $\Phi_{МП}(p)$ ,  $W_{МК}(p)$ ,  $W_M(p)$ ,  $W_D(p)$ ,  $P_{fzxc}$  соответственно: разомкнутого привода, кинематической системы (механическая передача для одного привода с последующим восстановлением кинематической системой), процесса резания с компонентами системы СПИД, модели замкнутого привода, модели кинематической системы, модели процесса резания с компонентами системы СПИД, внешнего корректирующего звена с системой СПИД.

При построении модели процесса резания формируется процесс резания как координатно-силовое взаимодействие по всем трем координатам с заготовкой. Передаточная функция упругой системы СПИД взята в виде

апериодического звена по рекомендации работы [1]. В основе силового взаимодействия системы СПИД лежат положения работ [2, 3], а также работы [4].

Особенности структурной схемы технологической системы.

1. В модели а) учтена вся матрица силового взаимодействия; б) при восстановлении контура введено чистое запаздывание на один оборот привода главного движения и соответственно величины координатных перемещений на один оборот.

2. Регулируемые координаты замыкается по цепи главной обратной связи через модель процесса резания с учетом системы СПИД.

3. Возможны два варианта получения корректирующего сигнала: а) управляющее воздействие на вход модели кинематической системы подается с модели привода (вход 1); б) на вход модели подается сигнал с реального привода.

4. Корректирующий сигнал вводится в управляющее для приводов воздействие в виде дополнительной составляющей. Одним из основных вопросов при построении адаптивной системы является вид дополнительно звена и место введения корректирующего сигнала. Здесь возможны два варианта введения сигнала: а) во внутренний контур; б) в управляющее воздействие. Рассматривается второй вариант.

В основу метода формирования дополнительной составляющей положена четвертая форма инвариантности. При этом рассмотрены несколько способов его формирования с учетом особенностей разложения заданного контура на управляющие для приводов воздействия в УЧПУ [5, 6]. В докладе приводится полная структурная схема технологической системы, отражаются ее особенности при построении модели с двумя вариантами подачи входных сигналов на модель кинематической системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967.
2. Левин А.И. Математическое моделирование в исследовании и проектировании станков. – М.: Машиностроение, 1978.
3. Абакулдов А.М., Видманов Ю.И. и др. Алгоритмизация продольного точения // Станки и инструмент. – 1972. – № 2. – С. 29–33.
4. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1982.
5. Андрейчиков Б.И. Динамическая точность систем программного управления станками. – М.: Машиностроение, 1964.
6. Кобзев А.А. Адаптация управляющего воздействия в приводах сборочного робота // Изв. вузов. Электромеханика. – 1991. – № 3–4. – С. 15–20.

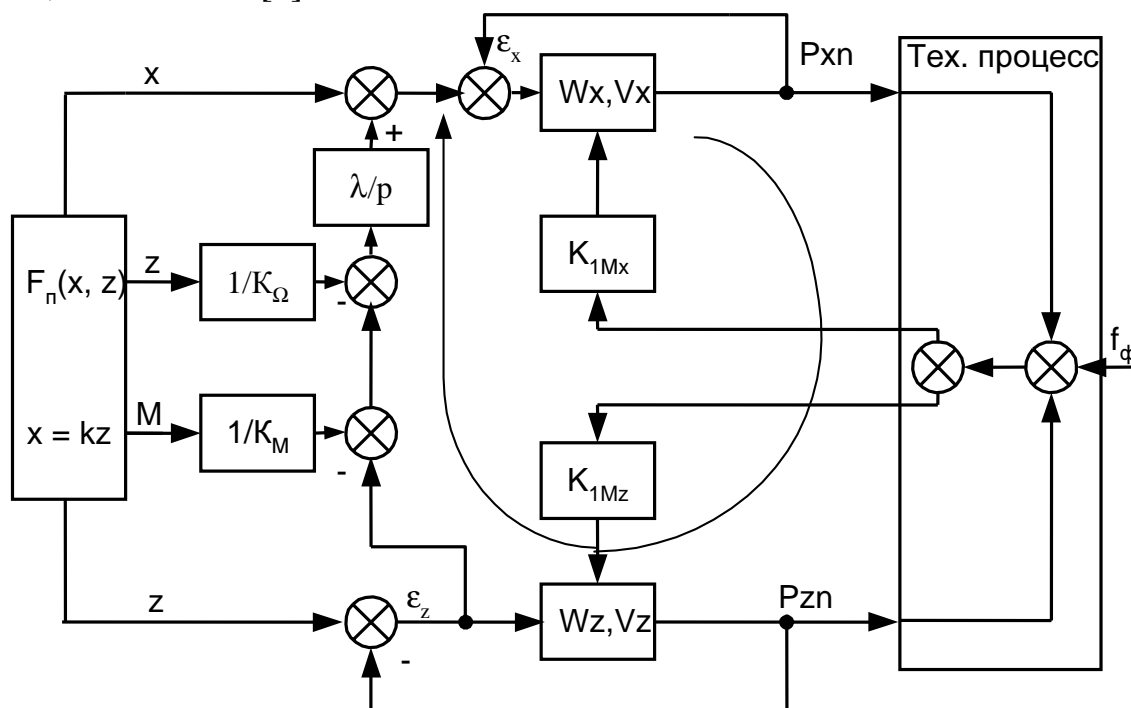
**А.А. Кобзев, И.Ю. Маклакова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## ДВУХКООРДИНАТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Одним из способов повышения точности изготовления является использование следящих систем комбинированного регулирования.

Рассмотрена двухкоординатная система. Взаимосвязь приводов приведена на рисунке. Устойчивость каждого из каналов обеспечивается отрицательными обратными связями «своих» исполнительных осей, а компенсация ошибок обеспечивается обратными перекрестными положительными связями «чужих» исполнительных осей. Для обеспечения условий устойчивости при вводе положительных обратных перекрестных связей следует использовать каналы с различными коэффициентами усиления, а следовательно, с различной настройкой по стабилизирующим и корректирующим сигналам [1].



*Взаимосвязь приводов системы управления технологическими процессами*

Известны передаточные функции приводов по управляющему и возмущающему воздействиям:

$$W_x(p) = W_z(p) = \frac{K_\Omega}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)};$$

$$V_x(p) = V_z(p) = \frac{K_M(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}.$$

Динамика системы описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= x - \frac{\lambda}{K_\Omega} z - \frac{\lambda}{p K_M} M + \frac{\lambda}{p} \varepsilon_z - P_{xn}; \\ P_{xn} &= \varepsilon_x W_x + K_1 M_x V_x \Delta x; \\ \Delta z &= (P_{zn} - P_{zf}) \cdot K'; \\ \varepsilon_z &= z - P_{zn}; \\ P_{zn} &= \varepsilon_z W_z + K_1 M_z V_z \Delta z; \\ \Delta x &= (P_{zn} - P_{zf}) K''. \end{aligned} \quad (1)$$

Из исходной системы уравнений (1) получено уравнение для моментной ошибки привода по координате  $x$  в следующем виде:

$$\varepsilon_{Mx}(p) = W_{\varepsilon_x M}(p) M(p),$$

где  $W_{\varepsilon_x M}(p) = \frac{\lambda(1 + W_z - K_1^2 K' K'' V_x V_z)}{K_M(p(W_x + 1)(W_z + 1) - K_1 K' V_z(p K_1 K'' V_x - \lambda W_x))}$  – передаточная функция ошибки привода по координате  $x$  по возмущающему воздействию  $M(p)$ .

Получены значения коэффициента ошибки по положению  $C_0$ , коэффициента ошибки по скорости изменения входного воздействия  $C_1$ . С учетом обратного преобразования Лапласа оригинал ошибки имеет вид:

$$\varepsilon_{Mx}(t) = 0 \cdot M(t) + \frac{K_M}{K_\Omega} \dot{M}(t) + \dots$$

Таким образом, для привода по координате  $x$  (с учетом привода по координате  $z$  и их взаимного влияния) частично выполняется условие инвариантности, т. е. привод инвариантен по отношению к входному воздействию (возмущению) [2, 3].

Уравнение для моментной ошибки привода по координате  $z$  можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_{Mz}(p) = W_{\varepsilon_z M}(p) M(p),$$

где  $W_{\varepsilon_z M}(p) = \frac{\lambda K_1 K' V_z W_x}{K_M(p(W_x + 1)(W_z + 1) - K_1 K' V_z(p K_1 K'' V_x - \lambda W_x))}$  – передаточная функция ошибки привода по координате  $z$  по возмущающему воздействию  $M(p)$ .

Выражение для ошибки представлено в виде ряда по возрастающим степеням  $p$ :

$$\varepsilon_{Mz}(p) = C_0 M(p) + C_1 p M(p) + C_2 p^2 M(p) + \dots$$

Выражение для изображения ошибки привода по координате  $z$  получено в виде:

$$\varepsilon_{Mz}(t) = 0 \cdot M(t) + \left( \frac{K_M}{K_\Omega} + \frac{1}{\lambda \dot{x}} \right) \dot{M}(t) + \dots$$

Таким образом, для привода по координате  $z$  частично выполняется условие инвариантности, т.е. инвариантность по возмущающему воздействию. Возмущающее воздействие определяется управляемым технологическим процессом.

В зависимости от характера возмущений (внутренних или внешних), выполняемого технологического процесса, вида возмущения, появляющегося при его выполнении, коррекция проводится с целью [3, 4]:

- строгого движения исполнительного органа по заданной траектории (станки с ЧПУ);
- адаптации программной траектории к фактической технологической, не совпадающей с ней по различным технологическим факторам (промышленные роботы и др.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Б.В. Проектирование квазиоптимальных следящих систем комбинированного регулирования. – М.: Энергия, 1967.
2. Проектирование инвариантных следящих приводов // Проектирование инвариантных следящих приводов. – М.: Высшая школа, 1963.
3. Кобзев А.А. Адаптация управляющего воздействия в приводах сборочного робота // Изв. вузов. Электромеханика. – 1991. – № 12. – С. 73–79.
4. Кобзев А.А. Адаптация управляющего воздействия в приводах сборочного робота // Изв. вузов. Электромеханика. – 1991. – № 3–4. – С. 15–20.

**В.А. Ковальский**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

#### ПРОГРАММНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ЛЮФТА В ПРИВОДАХ СТАНКОВ ЧПУ

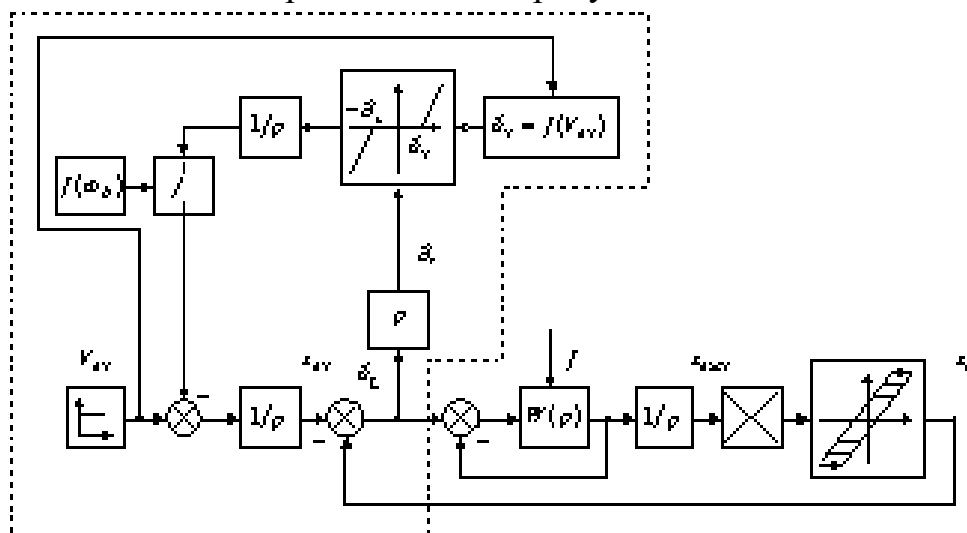
В следящих приводах различного рода технологического оборудования механическая передача между исполнительным двигателем и нагрузкой, являясь существенно нелинейным звеном с переменными параметрами, за счет наличия ряда погрешностей: «падающего» участка на характеристике сухого трения, зазоров (люфта), упругих деформаций, кинематических погрешностей и других многочисленных факторов во многом определяет точностные, динамические, энергетические и весогабаритные показатели следящего привода.



Эти нелинейности, как правило, оказывают отрицательное влияние на динамические свойства системы управления, ограничивают возможности повышения точности. Поскольку системы автоматического управления имеют в качестве объекта движения механические передаточные звенья, включающие в себя набор нелинейных характеристик, задача их компенсации является наиболее актуальной.

Наличие зазоров в электромеханических следящих приводах является характерной особенностью. Влияние их на работу следящего привода отрицательно, причем как в силовых, так и приборных передачах. Люфт в цепи двигатель - нагрузка приводит к снижению достижимой точности и плавности перемещения нагрузки и появлению ударных моментов, а зазоры в цепи двигатель - датчик обратной связи – дополнительно к появлению автоколебаний в приводе. Причем наиболее заметно люфты проявляют себя в течение переходных процессов при изменении скорости объекта управления. В установившихся режимах движения, они эффективно могут устраняться введением дополнительных предскажений в управляющее воздействие, а также конструктивными решениями, такими как применением различных разрезных зубчатых колес и другими способами.

Здесь рассматривается возможность динамической компенсации люфтов предскажением управляющего воздействия в период пуска и реверса привода при движении по требуемой траектории. Структурная блок-схема предлагаемого способа представлена на рисунке.



Структурная схема рассматриваемой системы управления

На схеме обозначено:  $V_{вх}$  – задатчик скорости движения;  $1/p$  – звено интегратора, на выходе которого получаем управляющий сигнал задания по положению  $x_{вх}$ ;  $\delta_{\Sigma}$ ,  $\delta_v$  – суммарная ошибка привода и величина, пропорциональная скорости изменения входного воздействия в моменты выбора люфта соответственно;  $W(p)$  – контур скорости;  $f$  – возмущение; следую-

щее два звена представляют собой схематическое представление механической передачи и ее люфтовые характеристики;  $x_d$  – действительное положение вала выходного механизма; переключающий элемент – функция управления представляется в виде  $f(\omega_d)$ .

Метод основывается на функциональном ограничении скорости выхода привода из зоны нечувствительности люфта, в результате чего значительно компенсируются динамические ударные составляющие в нагрузочном моменте, состояние системы непосредственно перед выходом становится предсказуемым, контуры управления не входят в критические зоны искусственных нелинейностей, устойчивость к интегрированным нелинейным возмущениям в переходных режимах возрастает, колебательность системы в момент выхода из зоны люфта снижается. Также можно отметить, что механические передачи будут работать в более щадящем режиме, в результате чего срок их службы, или длительность перерегулировки увеличивается.

В зоне выбора люфта передача разомкнута по положению, ошибка по положению растет и равна входному воздействию. Астатизм привода проявляется в увеличении скоростной ошибки, а следовательно и скорости вала двигателя. Вал двигателя движется равноускоренно:

$$\omega_{\text{ВЫХ}} = \varepsilon_{\text{ВЫХ}} t.$$

За время  $t_3$  выбора зазора  $\Delta$  исполнительный двигатель успевает разогнаться до некоторой скорости  $\omega_{\text{ВЫХ ЗАЗ}}$ , величина которой при равномерно ускоренном движении определяется соотношением:

$$\omega_{\text{ВЫХ ЗАЗ}} = \sqrt{2\varepsilon_{\text{ВЫХ}} \Delta}.$$

В результате, когда люфт полностью выбран, происходит ударное изменение нагрузки, скоростная ошибка может менять знак, динамическая колебательность возрастает.

Предлагается внутри зоны люфта двигаться со скоростью изменения задания, для чего необходимо симулировать замкнутость привода по положению. Для этого, в моменты, когда скорость выходного вала механической передачи  $\omega_d$  равняется нулю или отлична от знака скорости вала исполнительного двигателя замыкается ключевой элемент, в зависимости от следующей функции:

$$f(\omega_d) = \begin{cases} 0, & \text{при } \omega_d \neq 0 \text{ и } \text{sign}(\omega_d) = \text{sign}(\omega_{\text{ВЫХ}}); \\ 1, & \text{при } \omega_d = 0 \text{ и } \text{sign}(\omega_d) \neq \text{sign}(\omega_{\text{ВЫХ}}). \end{cases}$$

В результате этого, в контур управления подключается нелинейное скоростное компенсирующее звено, представляющее собой варьируемую зону нечувствительности.

Эту нелинейность можно представить следующим образом:

$$f(\delta_v) = \begin{cases} 0, & \text{при } |\delta_v(t)| \leq \delta_x; \\ k[\delta_v(t) - \delta_x \operatorname{sign} \delta_v(t)], & \text{при } |\delta_v(t)| \geq \delta_x. \end{cases}$$

Зона нечувствительности  $\delta_x$  звена изменяется в функции от скорости изменения сигнала задания привода:  $\delta_x = f(V_{\text{вх}}(t))$ . В общем случае эта функция представляет собой коэффициент пропорциональности, который осуществляет соотношение сигналов задания по скорости и скоростной ошибки привода в зоне выбора люфта.

Дифференцирующее звено осуществляет выделение из суммарного сигнала ошибки привода  $\delta_\Sigma$  скоростной составляющей  $\delta_v$ . При превышении сигналом  $\delta_v$  уровня  $\delta_x$ , который отслеживает требуемую скорость движения внутри зоны выбора люфта, сигнал компенсации начинает работать. Функция качества может быть представлена следующим образом:

$$I = \int_0^{\infty} (V_{\text{вх}}(t) - k|\delta_x(t) - \delta_v|) dt.$$

Сложность межблочных корректирующих связей никак не повлияет на возможность физической реализации подобных корректирующих контуров в виду последних достижений вычислительной и микропроцессорной техники. Пунктирной линией обозначена часть контура управления, которая строится с помощью программных средств.

**В.В. Козырев, О.В. Федотов, Р.Н. Поляков, А.А. Щека**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ РОЛИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧ И НА ЕЕ КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ**

Передача с длинными резьбовыми роликами имеет для предотвращения проскальзывания сопряженных резьб зубчатые зацепления винта, длинных роликов и опорной гайки. В настоящее время резьбы винта, роликов и гаек шлифуются на резьбошлифовальных станках высокой точности (например, фирмы Reishaner), а зубчатые венцы этих деталей обычно фрезеруются на станках до закалки. При этом внутришаговая погрешность резьб находится в пределах порядка 2 мкм, а погрешность среднего диаметра резьб в зависимости от величины диаметра находится для наружных резьб в пределах 5...10 мкм, а для внутренней резьбы в пределах 10...20 мкм. Вместе с тем, погрешности зубчатых венцов после термообработки (радиальное биение, колебание длины общей нормали) находятся в пределах от 30 до 100 мкм и более.

Прикатка зубчатых венцов с применением абразивных паст снижает величину погрешностей, но и после прикатки величина погрешности зубчатых венцов остается значительной.

Для экспериментальной оценки влияния погрешностей зубчатых венцов на кинематическую погрешность передачи были проведены измерения кинематической погрешности передачи, а также гармонический и статистический анализы результатов измерений.

Испытан исполнительный механизм автономного ортопедического аппарата автоматизированного остеосинтеза, состоящий из передачи с длинными резьбовыми роликами РВПД 12,6×0,1 [1] и промежуточного планетарного редуктора. В конструкции передачи используются одинарные гайки без натяга.

*Технические характеристики РВПД 12,6x0,1*

№ п/п	Параметр	Значение
1	Величина перемещения гайки за оборот винта, мм	0,1
2	Шаг резьбы, мм	0,4
3	Средний диаметр винта и роликов, мм	4,2
4	Длина перемещения гайки, мм	50
5	Статическая грузоподъемность, Н	3 000
6	Габариты (при втянутом штоке), мм×мм×мм	17×17×110

Планетарный редуктор выполнен по схеме  $2h-k$  с передаточным отношением  $u \approx 4$  (точнее 3,69). Схема испытательного стенда показана на рис. 1.

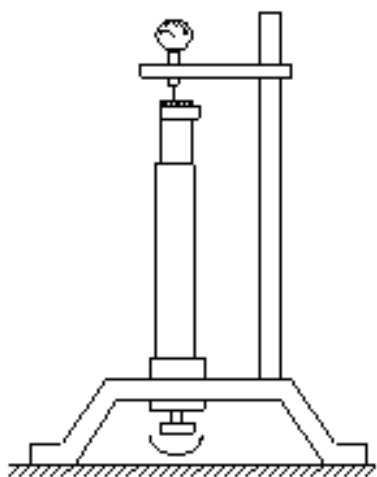


Рис. 1. Схема стенда для определения кинематической погрешности передачи

Перемещение задавалось путем поворота входного вала редуктора с использованием угловой шкалы на одну восьмую оборота. Величина перемещения выходной гайки определялись с помощью измерительной головки часового типа ИЧ-02/0,002 с ценой деления шкалы 2 мкм и пределом измерения 2 мм. Погрешность измерения составляла 1 мкм.

Полный цикл изменения положения роликов РВПД составлял 4 оборота винта передачи или  $\approx 16$  оборотов входного вала редуктора. Поэтому для выявления периодических погрешностей при каждом испытании осуществлялся поворот винта РВПД на 9 оборотов винта передачи или приблизительно на 36 оборотов входного вала редуктора.

Полученный график изменения величины кинематической погрешности в зависимости от угла поворота входного вала редуктора представлен на рис. 2.

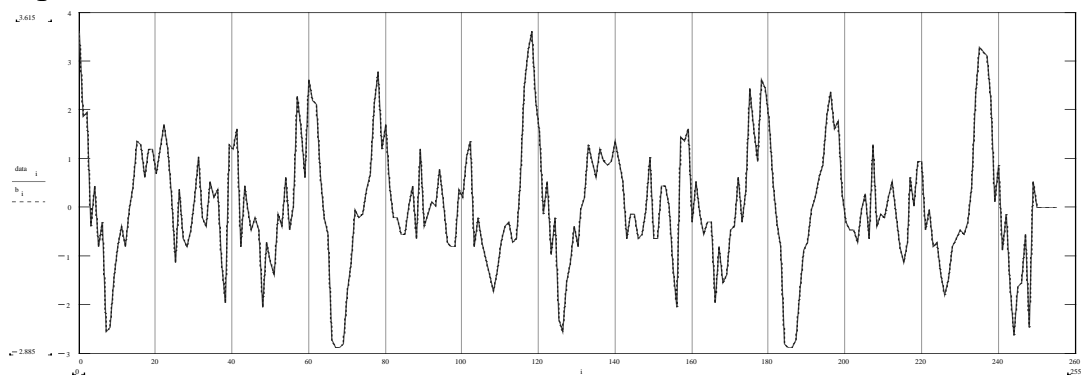


Рис. 2. График зависимости изменения величины кинематической погрешности от угла поворота входного вала редуктора

Из этого графика видно, что период изменения кинематической погрешности соответствует 4 оборотам винта передачи (120 шагов входного вала редуктора с шагом, равным одной восьмой оборота входного вала редуктора), т.е. связан с периодическим изменением взаимного положения зубчатых венцов РВПД.

Эти результаты подтверждают зависимость кинематической погрешности передачи от геометрических погрешностей зубчатых венцов.

На рис. 3 представлена гистограмма кинематических погрешностей РВПД 12,6×0,1. Поле рассеяния кинематической погрешности  $3\sigma$  составляет  $\pm 3,735$ , где среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 1,245$ .

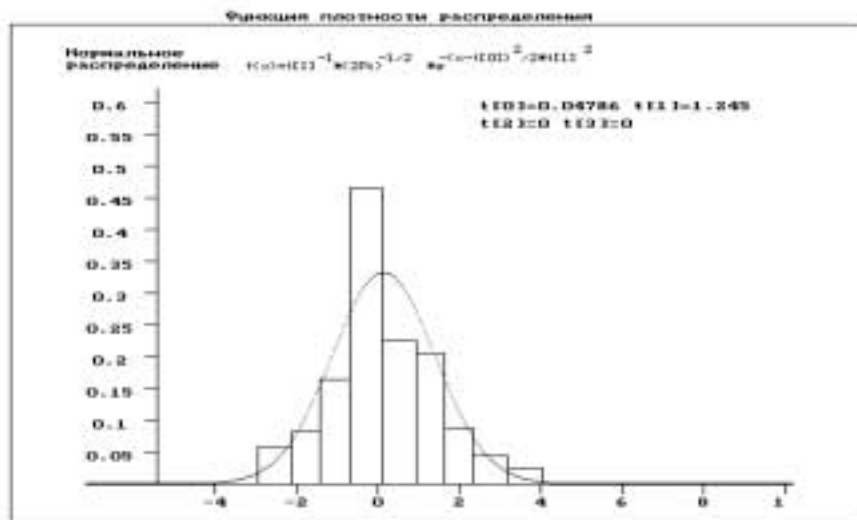


Рис. 3 Гистограмма кинематической погрешности передачи РВПД 12,6×0,1

Для снижения геометрических погрешностей зубьев, а следовательно, для повышения кинематической точности роликвинтовых передач

необходимо применять или поверхностную закалку зубьев (вместо объемной) с последующей прикаткой зубьев с абразивными пастами, или шлифовку зубьев после закалки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев В.В. Роликовинтовые передачи – перспективные наукоемкие компоненты общемашиностроительного применения // Приводная техника. – 1997. – № 5. – С. 28–30.

**А.Б. Костерин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ АВТОКОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ С ЛЮФТОМ

Среди задач проектирования современных систем управления наиболее важной является проблема обеспечения высокого качества заданного закона движения. Одним из наиболее трудно устранимых препятствий на этом пути являются погрешности изготовления узлов привода и, как следствие, зазор в исполнительном механизме. Для привода моноблочного исполнения предлагаются модели алгоритма компенсации автоколебаний, вызываемых такими нелинейностями как зазор и «сухое трение».

Система уравнений динамики следящего привода, состоящего из роликовинтового механизма (РВМ) и вентильного двигателя, имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{v}_1 = \frac{v_0 \left( \frac{u_{\text{упр}}(x_1, v_1, x_2, v_2)}{U_0} - \frac{S_X [c f_{\text{л}}(x_1 - x_2) + b \dot{f}_{\text{л}}(v_1 - v_2)]}{M_{\text{п}}} \right) - v_1}{T_1}, \\ \dot{v}_2 = \frac{c f_{\text{л}}(x_1 - x_2) + b \dot{f}_{\text{л}}(v_1 - v_2) - f_{\text{н}}}{m_2}. \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения (1) составлены для двухмассовой модели: первая масса жестко связана с валом двигателя и описывается фазовыми переменными  $x_1 = S_X \Phi_1$  и  $v_1 = \dot{x}_1 = S_X \omega_1$ ; состояние второй массы (нагрузка) определяется переменными  $x_2$  и  $v_2 = \dot{x}_2$ ;  $v_0$  – идеальная скорость скольжения нагрузки;  $S_X$  – кинематическая передаточная функция РВМ;  $u_{\text{упр}}(x_1, v_1, x_2, v_2)$  – управляющее напряжение на входе двигателя;  $U_0$  – номинальное напряжение на входе двигателя;  $c$  – коэффициент упругости;  $b$  – коэффициент демпфирования;  $M_{\text{п}}$  – пусковой момент двигателя;  $T_1$  – электромеханическая постоянная времени;  $m_2$  – масса 2-го звена;  $f_{\text{н}}$  – силы сопротивления нагрузки.

В модели присутствует нелинейность – функция типа «зона нечувствительности»  $f_{\text{л}}$ , моделирующая зазор в передаче:

$$f_{\text{л}}(\Delta x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\Delta x| \leq \Delta_{\text{л}}, \\ \Delta x - \Delta_{\text{л}} \text{sign}(\Delta x), & \text{если } |\Delta x| > \Delta_{\text{л}}. \end{cases}$$

где  $\Delta_{\text{л}}$  – половина зазора в передаче.

В отсутствие трения система (1) является кусочно-линейной: при выбранном зазоре система замкнута, и передача потоков мощности между массами осуществляется как в обычном приводе без люфта. Если люфт не выбран, то связь входного и выходного звеньев разрывается, и они движутся независимо. При окончании выборки люфта происходит удар звеньев, и если демпфирование мало, а разница скоростей звеньев в момент удара велика, то связь звеньев вновь может разорваться: в системе возникают релаксационные (пилообразные) колебания.

При наличии трения в системе (1) без люфта, работающей на низких скоростях, возникают фрикционные автоколебания. Численное решение показало, что при скоростях скольжения, значительно больших некоторой критической скорости  $v_{\text{кр}}$ , автоколебаний в системе нет, и выходное звено движется с постоянной скоростью  $v_0$ . Если  $v_0 \approx v_{\text{кр}}$ , то в системе устанавливаются гармонические автоколебания без остановок. Если  $v_0 < v_{\text{кр}}$ , то, начиная с некоторого значения скорости скольжения  $v_{\text{рел}}$ , колебания становятся релаксационными (с остановками). При дальнейшем уменьшении  $v_0$  растет время стоянки выходного звена за цикл.

Анализ системы с (1) двумя нелинейностями показал, что качественная картина возникающих автоколебаний зависит от соотношения нелинейностей. При низких скоростях скольжения доминирует «сухое трение» и автоколебания аналогичны описанным фрикционным автоколебаниям, только гармонические «горбы» имеют пилообразную форму. При значительных скоростях скольжения падающий участок силы трения практически не влияет на динамику, и в системе устанавливаются несимметричные пилообразные автоколебания (влияние трения в этом случае аналогично увеличению демпфирования). Более сложная картина получается при таких скоростях скольжения, когда амплитуды автоколебаний от каждой нелинейности имеют одинаковый порядок. Форма колебаний имеет в целом вид пилообразных «горбов» с участками стоянки или без (в зависимости от соотношения  $v_0$  и  $v_{\text{рел}}$ ), однако появляется дополнительный участок «срыва», когда «быстрое» 1-е звено догоняет более «медленное» 2-е звено и дополнительно подталкивает последнее.

Амплитуда колебаний в приводе без нагрузки определяется только величиной зазора, другие факторы практически не влияют на амплитуду установившихся автоколебаний. Поэтому в системе с люфтом без введения корректирующих алгоритмов практически невозможно добиться снижения неточности ниже  $\Delta_{л}$ . Компенсация ФА также трудно осуществима какими-либо конструктивными мероприятиями или корректирующими устройствами. Наиболее перспективным путем компенсации представляется введение корректирующих микропроцессорных алгоритмов. Синтез алгоритмов основан на результатах анализа динамики привода с нелинейностями.

Управление движением нагрузки при выборке люфта невозможно, т.к. связь между нагрузкой и двигателем нарушена. Задачей управления в этом случае является наискорейшая выборка зазора таким образом, чтобы по окончании выборки в момент соединения звеньев не происходило удара. Оптимальная траектория сшивается из двух фазовых траекторий: (1) разгон двигателя сигналом  $u_{упр} = U_0$  до времени переключения  $\tau^*$  и (2) торможение двигателя противовключением  $u_{упр} = -U_0$  до времени  $\tau$  окончания выборки зазора. Момент переключения  $\tau^* = \tau^*(\tau)$  определяется условием равенства скоростей звеньев при  $t = \tau$ , время выборки  $\tau$  в свою очередь находится из условия пересечения фазовых траекторий  $x_1(\tau)$  и  $x_2(\tau) = x_2^0 + v_2^0\tau + \Delta_{л}$ . Получить аналитические выражения для  $\tau$  и  $\tau^*$  вряд ли возможно, однако они однозначно восстанавливаются по значениям фазовых переменных  $(x_2^0, v_1^0, x_2^0, v_2^0)$ . Такой алгоритм может быть реализован и затабулирован при наличии информации о положении и скорости звеньев.

**А.Н. Лучанинов, В.Н. Филимонов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **РАЗРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ МУФТ СВОБОДНОГО ХОДА ДЛЯ ПРИВОДОВ СТАРТЕРОВ**

Самая распространенная пусковая система двигателей внутреннего сгорания (ДВС) транспортных и технологических машин – электростартерная. Одним из основных узлов стартерного привода, лимитирующих его долговечность, является муфта свободного хода (МСХ), которая служит для непрерывной передачи вращающего момента от вала стартерного электродвигателя к валу запускаемого ДВС до начала его устойчивой работы и последующего автоматического разъединения валов. При этом МСХ должна обеспечивать режим свободного хода, исключаящий «увлечение» якоря электродвигателя обгоняющим его валом ДВС с целью защиты электродвигателя от поломок (от «разноса» якоря). В течение необхо-



димого срока службы современных стартерных приводов, например, транспортных средств МСХ должны выдерживать около 100 тысяч включений, работая в тяжелых условиях: высокие угловые скорости обгона ( $700 \dots 900 \text{ с}^{-1}$ ), знакопеременные ударные нагрузки, недостаточное количество консистентной смазки на весь период работы.

В стартерных приводах мощностью до 5 кВт наибольшее распространение получили роликовые МСХ, что обусловлено их главными преимуществами: почти полным отсутствием мертвых ходов и шума. Вместе с тем, роликовые МСХ относятся к фрикционным механизмам, принципиальный недостаток которых – большие контактные напряжения на активных поверхностях, обусловлен передачей вращающего момента от ведущих звеньев к ведомым посредством только сил трения и малыми углами заклинивания ( $4 \dots 6^\circ$ ). По этим причинам роликовые МСХ чувствительны к износу (сотые доли миллиметра) и требуют высокой точности изготовления. По мере повышения мощности и ресурса стартерных приводов указанные недостатки фрикционных МСХ становятся непреодолимыми. Этим объясняется наметившаяся устойчивая тенденция замены фрикционных МСХ (роликовых, сухариковых, дисковых, пружинных и др.) в приводах стартеров большой мощности на зубчатые МСХ, передающие вращающий момент зацеплением.

Чаще других применяются храповые МСХ с торцовыми зубьями на полумуфтах, например, разработанные фирмами Bendix (США) или Bosch (Германия). В таких МСХ не удастся полностью использовать основное преимущество храпового зацепления и существенно снизить контактные напряжения, так как невозможно обеспечить зацепление всех жестких зубьев даже при высокой точности их изготовления. Надежная работа этих муфт обеспечивается зацеплением малого числа зубьев за счет их большой прочности. Чтобы избежать высокочастотных соударений зубьев полумуфт (около 2000 ударов в минуту) и значительного «увлечения» якоря в режиме обгона приводы снабжены автоматическими инерционными разъединителями полумуфт, которые усложняют конструкцию и недостаточно надежны.

В меньшей степени недостатки храповых муфт свойственны микрохраповым МСХ, разработанным в Челябинском государственном университете, в частности, для автомобильных стартеров. Передаваемый ими момент распределяется между большим числом последовательно вступающих в работу упругих собачек в виде изогнутых по дуге пластин, взаимодействующих с мелко модульным храповым колесом. В этом случае долговечность МСХ определяется уже не контактными напряжениями, а напряжениями изгиба в опасном сечении первой из вступивших в работу пла-

стин. Исследования показали, что снизить эти напряжения до необходимого уровня при неизменных габаритах МСХ – очень непростая задача.

В последние годы в Калининградском государственном техническом университете активно ведутся исследования эксцентриковых МСХ для приводов автомобильных стартеров. Причем по мере увеличения мощности привода также прослеживается характерная замена фрикционных эксцентриковых МСХ на эксцентриковые МСХ с зацеплением развитыми внутренними и внешними храповыми зубьями на активных поверхностях. В последнем варианте конструкция и технология изготовления муфты сравнительно сложны.

Для обеспечения своевременного заклинивания звеньев и уменьшения ударных нагрузок во всех перечисленных МСХ применяются устройства поджима тел заклинивания (обычно на основе упругих элементов), которые в значительной степени определяют долговечность МСХ. Например, по данным НИИ автоприборов около 70% стартерных приводов отечественных конструкций с роликовыми МСХ выходили из строя по причине усадки пружин плунжерного поджимного устройства. Устройства поджима усложняют конструкцию МСХ, требуют высокой точности расчета и изготовления.

Указанные выше недостатки известных конструкций МСХ послужили основанием для разработки стартерного привода с зубчатой планетарной МСХ, созданной в ВлГУ на основе планетарной самотормозящей передачи с большими углами наклона зубьев. Зубчатая планетарная МСХ (Патент РФ № 2052682, МКИ F 16 D 41/06) имеет предельно простую и компактную конструкцию, которая состоит из центрального колеса – ведомой полумуфты и трех сателлитов – тел заклинивания, оси которых вращаются вместе с водилом – ведущей полумуфтой. Шевронные зубья имеют несимметричный профиль, одна из сторон которого (тормозящая) обеспечивает рабочий ход, а противоположная – свободный ход механизма.

Сохранив достоинства планетарных передач, данная муфта имеет ряд очевидных преимуществ по сравнению с известными МСХ аналогичного назначения, обуславливающих ее конкурентоспособность.

Для обеспечения заклинивания муфты, после которого все ее звенья вращаются как единое целое, линия действия торцовой составляющей реакции в зацеплении должна пройти внутри круга трения сателлита. Это возможно, если сила трения и нормальная составляющая реакции дают моменты разного знака относительно его оси вращения. Таким образом, сила трения обеспечивает заклинивание сателлита, а передача вращающего момента осуществляется непосредственно через торцовую проекцию нормальной реакции.

В конструкции зубчатой планетарной МСХ отсутствуют поджимные упругие элементы тел заклинивания. Распределение передаваемого момента между сателлитами обеспечивается за счет их самоустанавливаемости. Вступление в контакт той или иной точки профиля носит случайный характер, поэтому активные участки профилей изнашиваются равномерно. По мере изнашивания зубьев увеличивается зазор в зацеплении, но муфта сохраняет работоспособность до полного разрушения зубьев. Зубчатая планетарная МСХ способна работать при высоких скоростях и мгновенно включаться при любом относительном положении звеньев. Благодаря большим углам наклона зубьев она обеспечивает при холостом ходе плавную и бесшумную работу с незначительными потерями на трение.

Теоретические основы расчета и проектирования зубчатых планетарных МСХ разработаны в рамках грантов Министерства образования РФ по фундаментальным исследованиям в области машиностроения 1996–97 гг. Решение нелинейной задачи оптимизации позволило найти такие геометрические параметры зубчатой планетарной МСХ, при которых углы заклинивания оказались больше, чем у роликовых МСХ в 4...5 раз. Найденное оптимальное решение для данной пары материалов (сталь по стали) при среднем коэффициенте трения  $f = 0,2$  обеспечивает работу МСХ в весьма широком диапазоне: от  $f_{min} = 0,11$  до  $f_{max} = 0,41$ .

Оптимальные безмерные параметры зубчатого зацепления планетарной МСХ (углы профиля и наклона, коэффициенты смещения, числа зубьев) зависят от коэффициента трения скольжения в зацеплении и не зависят от модуля. Инвариантность геометрических параметров зацепления относительно модуля в сочетании с минимальной номенклатурой деталей, технологичностью и надежностью зубчатых планетарных МСХ создает хорошие предпосылки к разработке типоразмерного ряда этих механизмов для приводов стартеров различной мощности.

**А.Л. Марыгин, Е.А. Мышова, В.П. Умнов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **СИСТЕМЫ МОМЕНТНОЙ РАЗГРУЗКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАЗЕР-РОБОТАХ С ЗАМКНУТЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ**

Одним из вариантов построения лазер-роботов является двухманипуляционная система на базе серийного транспортного робота и автономного манипулятора оптики. Манипуляторы образуют замкнутую кинематическую цепь, в которой часть звеньев, принадлежащая транспортному роботу, имеет приводы перемещения, а остальная часть приводов не имеет.

С целью применения транспортного робота минимальной грузоподъемности и повышения точности перемещения лазерного луча в процессе обработки целесообразно осуществить его моментную разгрузку.

Предлагается для моментной разгрузки оснастить манипулятор оптики маломощными моментными приводами и использовать один из двух алгоритмов формирования управляющих сил и моментов.

Первый алгоритм, приведенный на рис. 1, основан на использовании информации о положении звеньев манипуляторов.

1	Опрос датчиков положения М1
2	Определение положения рабочей точки М1 (М2) Решение прямой задачи кинематики для М1
3	Решение обратной задачи кинематики для М2
4	Решение прямой задачи динамики для М2
5	Формирование сил и моментов в автономных системах разгрузки М2

Рис. 1. *Позиционный алгоритм формирования управляющих сил и моментов*

Предлагается, что М1 – транспортный манипулятор, М2 – манипулятор оптики, а рабочей точкой является некоторая общая для кинематических цепей точка, например оптический центр фокусирующей линзы.

Второй алгоритм, приведенный на рис. 2, основан на использовании информации о силомоментном взаимодействии между манипуляторами, измеряемом шестикомпонентным датчиком, встроенным в кинематическую цепь.

1	Опрос датчика силомоментного взаимодействия между М1 и М2
2	Вычисление транспонированных якобианов для М1 и М2
3	Формирование сил и моментов в автономных системах разгрузки М1 и М2

Рис. 2. *Формирование управляющих сил и моментов с использованием датчика взаимодействия между манипуляторами*

Этот алгоритм требует меньшего количества вычислительных операций и, обладая большим быстродействием, является предпочтительным.

Разработан математический аппарат для реализации предложенных алгоритмов.

**Р.Г. Михайлов, С.А. Румянцев, С.Н. Сысоев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПОИСКОВОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ**

Современные принципы и методы нахождения технических решений позволяют не только создавать качественно новые технологии и производственное оборудование, но и находить скрытые функциональные возможности уже существующего.

В данной работе предлагается методика нахождения технического решения на базе метода исследования функционально-физических связей (МИФФС) [1].

В машиностроении для окончательной обработки внутренних цилиндрических поверхностей широко применяется хонингование с пневматическими датчиками типа «сопло-заслонка» для активного контроля.

Согласно МИФФС область применения технического объекта (ТО) определяется существующими в нём функционально-физическими связями. Поэтому, если будут найдены избыточные связи, то их можно либо использовать, расширив тем самым область применения ТО, либо убрать, что позволит улучшить ТО.

Для нахождения взаимосвязей исследуемое оборудование представляется в виде функционально-физической структуры (см. рисунок). ТО можно разделить на хонинговальный станок и систему активного контроля. Система активного контроля включает в себя: каналы подачи сжатого воздуха, выполняющие функцию направленной транспортировки рабочей среды; сопла, расположенные в хоне и предназначенные для организации струи рабочей среды; обрабатываемое изделие, выполняющее функцию заслонки; устройство измерения и преобразования сигналов о контролируемом параметре; сжатый воздух, используемый в качестве рабочей среды датчика активного контроля. Хонинговальный станок состоит из силовой части с системой управления, предназначенной для создания требуемых рабочих движений инструмента (хона), и системы смазки и охлаждения. Выполнение требуемых функций определяется конкретными физическими явлениями.

Анализ данной структуры показывает, что сжатый воздух и система смазки и охлаждения, выполняющие разные функции, имеют одинаковые функционально-физические связи. Это показывает возможность использования рабочей среды системы смазки и охлаждения для выполнения функции активного контроля.

Таким образом, появляется возможность выполнения технологического процесса хонингования с активным контролем без использования сжатого воздуха с сохранением функциональных возможностей системы в целом.



*Функционально-физическая структура оборудования*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сысоев С.Н. Нахождение технических решений методом исследования функционально-физических связей // Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды IV Междунар. конгресса. – Москва: СТАНКИН, 2000. – Т. 2. – С. 185–187.

**Ю.Е. Мишулин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

При проектировании системы управления ставилась задача обеспечения управления тремя взаимосвязанными электроприводами, работающими на общую нагрузку. При этом решается задача оптимизации точност-

ных характеристик привода при обеспечении монотонного характера переходного процесса. К системе предъявляются требования по ограничению массогабаритных показателей. При этом усилие, развиваемое на выходе исполнительного механизма, должно составлять 900 Н. Система управления должна обеспечивать как автономное, так и согласованное управление приводами.

Система управления проектировалась для управления шаговыми двигателями. Применение шагового двигателя предполагает работу системы управления в импульсном режиме, что значительно упрощает реализацию самой системы управления, а также его алгоритмов функционирования.

Как известно, шаговые двигатели имеют значительно меньший вращающий момент при номинальной скорости вращения, чем двигатели постоянного тока при одних и тех же массогабаритных показателях. По функциональному назначению устройства предполагается работа двигателей на отработку малых перемещений (в пределах сотни оборотов), причем временные ограничения по быстродействию не играют существенной роли. На малых скоростях шаговый двигатель может развивать значительный момент. Сравнительный анализ показал возможность использования шагового двигателя ДШ-25-0,001 совместно с роликвинтовой передачей. На малых скоростях вращения момент достигает требуемого по техническим условиям.

Управление шаговым двигателем заключается в формировании последовательности импульсов на обмотках статора двигателя и их коммутации в определенной последовательности. Частота следования импульсов определяет скорость вращения двигателя.

В настоящее время существует множество микропроцессорных устройств, различающихся как ценой, так и техническими характеристиками. Корпорация INTEL является пионером в этой области и занимает лидирующее положение по выпуску микроконтроллеров. При этом широко развиваются и используются в промышленности микроконтроллеры, выпускаемые по промышленному стандарту MCS-51. Широкая номенклатура контроллеров позволяет применять их практически во всех отраслях. Одним из основных представителей этого семейства являются микроконтроллеры серии AT89, производимые фирмой Atmel. Это маломощные, высокоэффективные КМОП (CMOS) 8-разрядные микроконтроллеры со встроенной электрически перепрограммируемой постоянной Flash-памятью (EEPROM). Flash-память, встроенная в кристалл, допускает изменение программы путем перепрограммирования непосредственно в системе или обычным программатором.

Объединяя универсальный 8-разрядный центральный процессор с Flash-памятью на кристалле, Atmel AT89 являются мощными микрокон-

троллерами, которые обеспечивают очень гибкие и экономически эффективные процессы выполнения программы на ЭВМ.

В данной системе управления применен микроконтроллер AT89C2051. Его основные отличительные характеристики: 2 Кб Flash-памяти, 128 байт оперативной памяти, 15 программируемых линий ввода-вывода, два 16-разрядных таймера/счетчика, шесть источников прерывания, программируемый последовательный интерфейс. Наличие последовательного интерфейса позволяет простыми средствами реализовать связь с пультом управления.

Для управления микромашинами, как постоянного тока, так и шаговыми двигателями, выпускаются специальные контроллеры (драйверы). Такие контроллеры выпускаются фирмами Motorola, Ericsson и др. Так, например шведской фирмой Ericsson выпускается ряд контроллеров для управления двухфазными шаговыми двигателями.

Контроллер PBL 3774 представляет собой интегральную схему двухканального прерывателя (формирователя) постоянного тока для обмоток двухфазного шагового двигателя. Контроллер содержит генератор, который является общим для обоих каналов двигателя, набор компараторов и триггеров, выполняющих управление переключениями, и два силовых H-моста. Близкое соответствие параметров между каналами обеспечивают высокую точность микроперемещений. Напряжение питания канала управления составляет 5 В, для силовой цепи питания двигателя от 10 В до 45 В. Максимальный выходной ток силовых мостов составляет 1 А.

Управление всеми двигателями осуществляется от одного микроконтроллера, выполняющего функции распределения импульсов на обмотки статора двигателей и их коммутацию в определенной последовательности. В системе управления заданы две скорости. В режиме отработки заданных шагов для обеспечения заданного момента установлена небольшая скорость вращения. В ручном режиме управления, осуществляемом с пульта управления, установлена высокая скорость, так как в этом режиме не требуется большой момент на валу, а необходимо лишь выполнить заданные перемещения исполнительного механизма в нужное положение.

Величина перемещения определяется количеством импульсов, поступающих на обмотки двигателя. Для данного двигателя один импульс соответствует повороту вала двигателя на 45 град. С учетом передаточного отношения механической передачи это соответствует перемещению штока на 3,4 мкм. С пульта управления величина перемещения задается в микрометрах, которые пересчитываются в эквивалентное значение числа импульсов. Данные о настройках хранятся во внутренней памяти данных (EEPROM).

Пульт управления (управляющая информационная подсистема) построен на микроЭВМ AT89C51. В состав пульта управления входит уст-



ройство отображения вводимой информации и клавиатура. С пульта задаются следующие параметры:

- диапазон задания перемещения, мкм 7...255;
  - диапазон задания временного интервала, мин 1...255
- при шаге задания временного интервала 1 мин.

Для индикации вводимых данных используется двухстрочный жидкокристаллический дисплей DV-16252.

Для расширения функциональных возможностей в программное обеспечение были введены функции регулирования скорости вращения двигателей. Так в ручном режиме скорость двигателя можно задавать в диапазоне от 100 об/мин до 2000 об/мин, а в режиме программной отработки в диапазоне от 10 об/мин до 200 об/мин.

Конструктивно система управления включает два функциональных устройства: блок управления приводами и пульт управления, каждое из которых выполнено в виде отдельного блока, соединенных кабелем.

Блок управления приводами монтируется на печатной плате и помещается в корпус. С передней стороны в корпусе установлены четыре светодиода для контроля включенного состояния приводов и контроля рабочего состояния всего комплекса. С двух сторон корпуса установлены кнопки аварийного отключения. В корпусе имеются два разъема для подключения пульта управления и исполнительных двигателей.

Пульт управления выполнен в корпусе, на передней панели которого установлены клавиатура управления и жидкокристаллический индикатор. Связь пульта с системой управления приводами осуществляется по последовательному каналу.

Проведенные испытания системы показали полное соответствие предъявляемым техническим требованиям по точности отработки заданного перемещения и по развиваемому усилию на исполнительном органе.

**Ю.Е. Мишулин, В.А. Немонтов, Н.А. Новикова**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **АНАЛИЗАТОР ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

Информация о видах управляющего и возмущающего воздействий при построении систем управления технологическими объектами имеет определяющее значение. Особенно остро этот вопрос встает в случаях, когда выходная регулируемая координата не охвачена главной обратной связью. Это станки с ЧПУ, без системы активного контроля, промышленные роботы, у которых датчики положения располагаются в «начале» сустава,

для транспортно-технологических систем, например для манипуляторов и другого оборудования, расположенных на подвижном основании и т.п. В этих случаях эффективно построение систем управления с параллельной эталонной моделью. Одним из основных в таких структурах является вопрос о получении информации о текущих управляющем и возмущающем входных воздействиях. Для этой цели целесообразно использовать анализатор этих воздействий. Рассмотрим возможный вариант построения прогнозирующего анализатора управляющего и возмущающего воздействий.

При решении задачи прогнозирования функций в динамических системах наиболее характерны две задачи. Первая состоит в том, что известен вид некоторого приближения анализируемой траектории и задан, например, многочленом. Однако измеряемые значения траектории содержат большие ошибки. Требуется получить наилучшее в определенной норме приближение при минимальном числе измеренных значений. Вторая задача состоит в определении вида приближающей функции, который существенно зависит от цели прогнозирования. В настоящей работе рассматривается вторая задача.

При этом основными вопросами являются:

- 1) выбор аппроксимирующего полинома;
- 2) определение типового вида анализируемой функции;
- 3) решение вопросов по начальным условиям;
- 4) разработка программно-алгоритмического обеспечения для решения этой задачи;
- 5) определение условий сходимости вычислительных алгоритмов в зависимости от частотного спектра анализируемой функции;
- 6) моделирование и экспериментальная оценка предложенных алгоритмов прогнозирования.

Рассмотрим кратко основной подход к решению задачи. В этом случае задача прогнозирования может быть решена с помощью методов экстраполяции, причем, т.к. ставится задача «экстраполяции вперед», целесообразно использовать вторую интерполяционную формулу Ньютона [1]. Необходимым условием для начала интерполирования является задание начальных значений функции. Поэтому надо иметь таблицу начальных значений функции  $g(t)$  на начальном интервале от 0 до  $t$ . Тогда прогнозируемая функция  $y(t)$  имеет вид

$$y(t) = g_n + q \cdot \Delta g_{n-1} + \frac{q(q+1)}{2!} \Delta^2 g_{n-2} + \frac{q(q+1)(q+2)}{3!} \Delta^3 g_{n-3} + \dots + \frac{q(q-1)(q+n-1)}{n!} \Delta^n g_0, \quad (1)$$

где  $n$  – порядок интерполяции, определяется количеством выбранных начальных точек;  $q = \frac{t - t_n}{\Delta t}$ ,  $\Delta t$  – шаг интерполяции;  $\Delta g_{n-1}$ ,  $\Delta^2 g_{n-2}$ , ...,  $\Delta^n g_0$  – конечные разности соответствующего порядка:

$$\begin{aligned}\Delta g_{n-1} &= g_n - g_{n-1} = g(t_n) - g(t_{n-1}); \\ \Delta^2 g_{n-2} &= \Delta g_{n-1} - \Delta g_{n-2}; \\ &\dots \\ \Delta^n g_0 &= \Delta^{n-1} g_1 - \Delta^{n-1} g_0.\end{aligned}$$

Анализ (1) показывает что, имея начальный массив значений приближенной функции перемещения  $g(t)$ , массив конечных разностей формируется достаточно просто и расчет прогнозируемой функции  $y(t)$  может быть реализован в реальном времени.

Рассмотрим пример цифрового моделирования задачи прогнозирования траектории. В общем случае функция перемещения может носить совершенно случайный характер. Но для точного решения задачи экстраполяции она должна быть гладкой и не иметь точек разрыва. Наиболее широко в технологических системах, а также в системах стабилизации и слежения за подвижными объектами в качестве управляющих для приводов воздействий наблюдаются функции изменения входного сигнала с постоянной скоростью, ускорением и изменяющихся по гармоническому закону. Для исследования точности выбранных аппроксимирующих методов была взята более сложная функция в виде двух гармоник и третьей составляющей в виде произведения двух гармоник вида

$$g(t) = A_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(2\omega t) + A_3 \sin(3\omega t) \sin(4\omega t). \quad (2)$$

Причем параметры  $A_i$  и  $\omega$  можно задавать произвольным образом.

Алгоритм работы прогнозирующего анализатора заключается в следующем. При перемещении точки по заданной траектории, которая в общем случае является величиной случайной, производится измерение текущих координат в дискретные моменты времени. По измеренным значениям вычисляются конечные разности первого, второго и т.д. порядков. Этот массив данных запоминается в памяти и в дальнейшем будет использоваться при расчете прогнозируемой функции.

Моменты времени, в которые производится измерение координат, определяется скоростью движения по траектории. При движении с постоянной скоростью интервалы измерений должны быть постоянными.

Значения параметров периодически обновляются при перемещении точки на один шаг. Чем больше измеренных значений и соответственно больший порядок вычисленных разностей, тем точнее будет произведено вычисление прогнозируемой функции. Но с другой стороны требуется

большой объем памяти и усложняется процедура вычислений, что при работе в реальном времени может быть недопустимо. При моделировании расчет прогнозируемой функции проводился по пяти измеренным значениям начальных точек. Таким образом, необходимо помнить всего 15 значений промежуточных параметров, что не предъявляет высоких требований к системе.

Прогнозирование функции перемещения можно осуществлять вперед на любое количество шагов. Но чем ближе к измеренным значениям производится прогнозирование, тем точнее будет получена искомая функция. Результаты моделирования показали следующее. При опережении до десяти точек, для функции перемещения заданной в виде (2) отклонение прогнозируемой функции практически не наблюдается. Незначительные отклонения, в пределах 5%, наблюдаются при прогнозировании вперед до 20 точек. Дальнейшее увеличение опережения дает уже значительную ошибку.

Предварительные исследования показали:

- 1) принципиально возможно решение задач прогнозирования динамических функций;
- 2) одним из видов аппроксимирующего полинома может быть рекомендована вторая интерполяционная формула Ньютона;
- 3) существенным вопросом является вид начальных уставок и вид частотного спектра анализируемых функций.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука. 1986.

**В.А. Немонтов**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

В управлении электроприводами современного технологического оборудования широко используются управляющие микроЭВМ

МикроЭВМ привода оперирует с кодами  $N$  соответствующих параметров, уравнения реализации которых могут быть представлены в виде

$$N_{U_i} = \text{ent} \left( K_n N_{\delta_i} + K_C \sum_{i=1}^n N_{\delta_i} + K_B (N_{\delta_i} - N_{\delta_{(i-1)}}) \right); N_{\delta_i} = N_{U_i} - K_{M_i} N_{x_i},$$

где  $N$  – код параметра, определяемого соответствующим индексом.

Цикл расчёта и соответствующая ему частота дискретизации с одной стороны, должна быть выбрана в несколько раз выше полосы пропускания аналоговой части привода, а с другой стороны ограничена быстродействием применяемого микроконтроллера, его системой команд и особенностей построения алгоритма управления.

Оценим требуемое быстродействие микропроцессорной системы и эффективность (с точки зрения времени реализации) алгоритмов управления электроприводом.

Исходные данные должны включать:

- алгоритм управления движением привода;
- требуемую точность перемещения;
- максимальные геометрические размеры перемещений;
- частоту тактовых импульсов  $\Omega$ ;
- период постоянной несущей частоты  $T$ ;
- максимальную скорость перемещения  $V_{\max}$ .

Следует отметить, что варьируя исходные данные, можно получить различные оценки. Например, в случае определённой заранее микроЭВМ может быть поставлена задача выбора алгоритма, наиболее эффективно реализуемого на микроЭВМ данной вычислительной мощности. С другой стороны, может быть поставлена задача определения требуемого быстродействия.

Разрядность величин, необходимая для работы по тому или иному алгоритму, зависит от максимальных геометрических размеров координатных перемещений, требуемой точности движения по формируемой траектории, скоростных характеристик и особенностей самих алгоритмов, но может быть выбрана для большинства

микроЭВМ равной восьми, шестнадцати или тридцати двум. Необходимость работы при расчётах со словами двойной и тройной длины резко снижает производительность микропроцессорной системы.

Требуемое время выполнения «средней» операции определим как

$$\bar{t}_{\text{cp}} = \frac{T_{\text{усл}}}{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^m w_i q_i}{\omega},$$

где  $T_{\text{усл}}$  – условное время отработки алгоритма;  $q_i = t_i / t_{\text{cp}}$  – весовой коэффициент времени из множества  $\{q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_m\}$ , определяющий отношение времени выполнения операции  $i$ -го типа ко времени выполнения наиболее часто повторяющейся операции;  $w_i$  – число операций  $i$ -го типа из множества  $\{w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m\}$ , которое определяет число и состав операций алгоритма и, в случае задания конкретной микроЭВМ, системы команд.

Полученная величина  $t_{\text{cp}}$  и может служить оценкой требуемого быстродействия. Кроме этого, необходимо учитывать время на подготовку входных данных (опрос и преобразование информации с датчиков обратной связи), время на реализацию алгоритмов управления электроавтоматикой (до 50% временных затрат), поэтому  $\bar{t}'_{\text{cp}} \approx (0,4 \dots 0,6) \bar{t}_{\text{cp}}$ .

Изложенная оценка достаточно полно учитывает основные технические характеристики, предъявляемые к микропроцессорным средствам и алгоритмам, однако она отличается сложностью и трудоёмкостью, поскольку в случае перебора алгоритмов и возможности использования микроЭВМ различных типов необходимо выполнять большой объём программирования и обработки результатов.

Поскольку возможности микропроцессорных средств не должны, в принципе, ограничивать требования к задачам управления, в первую очередь выбираются необходимые алгоритмы. Затем определяется приблизительное время реализации алгоритма управления, для чего в нём выделяются блоки, требующие для реализации наибольших временных затрат, и составляются программы в системах команд предполагаемой к применению микроЭВМ.

Зная в процентном отношении затраты на реализацию таких блоков и время их выполнения, можно оценить общее время выполнения алгоритма. Например, в алгоритмах линейной и круговой интерполяции по методу оценочной функции наибольшее время занимает вычисление очередных оценочных функций и приращений по ведомой координате – до 75...80%. После этого определяется, соответствует ли полученное время допустимо-

му времени реализации, и при выполнении этого условия разрабатываются и отлаживаются полностью управляющие программы. В противном случае исследуется возможность повышения производительности данной микро-ЭВМ (с учётом организации ввода-вывода), либо производится замена микроЭВМ на более мощную, после чего необходимо ещё раз повторить изложенный процесс.

Такой вариант оценки ресурсов обладает значительно меньшей трудоёмкостью, поскольку вначале необходимо программировать лишь 20...30% от полного состава программного обеспечения.

Аппаратная часть исполнительного уровня управления технологическим оборудованием может быть реализована на микропроцессорах различных типов: восьмиразрядных микроЭВМ фирмы Intel семейства MCS-51 и их аналогов (Philips, Dallas, Analog Devices), высокопроизводительных AVR-контроллерах фирмы Atmel; шестнадцатиразрядных семейства MCS-96; микроконтроллерах Microchip PIC; сигнальных DSP-процессорах и т.д. Такие устройства имеют развитую систему ввода-вывода, а высокая производительность и аппаратная поддержка цифровой обработки сигналов позволяют реализовать многоконтурную цифровую коррекцию управляемых объектов. Встроенные ШИМ-преобразователи могут быть применены для непосредственного управления исполнительными элементами механизмов, а наличие встроенных сетевых протоколов обмена легко позволяет объединить процессоры в локальную сеть для построения мультипроцессорной управляющей системы.

**С.Н. Сысоев**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОЗИЦИЙ МЕТОДОЛОГИИ ПОИСКОВОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Современные достижения в области поискового конструирования позволяют не только повысить эффективность творческих процессов разработчиков, но и прогнозировать пути дальнейшего развития элементной базы производственного оборудования.

Историческое развитие принципов построения производственного оборудования, связанное со стремлением разработчиков разрешить объективно существующее противоречие между универсальностью и специализированностью, привело к созданию агрегатно-модульного принципа построения элементной базы оборудования. Этот принцип позволяет потре-

бителю составлять требуемое оборудование из модулей, обладающих конструктивной и управленческой функциональной завершенностью. При создании модулей разработчики применяют различные приемы и принципы, исходя из накопленного ранее положительного опыта в этой области.

Существующее многообразие методов проектирования технических объектов (ТО), включая концептуальное проектирование, основывается на представлениях разработчиками исследуемого объекта, понимании его существенных признаков, реализация которых приведет к выполнению всех остальных признаков ТО.

Методология поискового конструирования [1], основанная на представлении **связей** в исследуемом объекте в качестве существенных признаков ТО, позволяет с единых позиций рассматривать такие направления создания элементной базы, как электроника и пневмоника. В докладе рассматривается направление построения элементной базы, получившее название **физионика**, основанное на выявлении и использовании в конкретной области применения связанных между собой физических явлений.

Положения о наиболее эффективных принципах построения элементной базы оборудования, сформированные автором в методе исследования функционально-физических связей (МИФФС), подтверждаются возникшей в последние годы и бурно развивающейся во всем мире новой отраслью науки и техники – мехатроникой. Мехатронные системы, состоящие из механических, электронных и компьютерных частей, отличаются синергетическим («органическим») соединением энергетических и информационных потоков. С позиций МИФФС предлагается расширить понятие термина «мехатроника», рассматривая его как направление в области искусства создания машин (механика) на базе организации неразрывных связей между силовой частью и системой управления с использованием разнообразных физических явлений, включая физические эффекты, применяемые в электронике и пневмонике.

Предлагаемые положения сопровождаются примерами конкретных технических решений в предметной области исследования на этапах: анализа и синтеза структуры; реализации структуры на базе унифицированных элементов; исследований параметров структуры; натуральных и параметрических исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сысоев С.Н. Нахождение технических решений методом исследования функционально-физических связей // Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды IV Междунар. конгресса. – Москва: СТАНКИН, 2000. – Т. 2. – С. 185–187.



**М.В. Шеногин, С.А. Пиголкин**

*Россия, г. Владимир, ВлГУ*

## **АДАПТИВНЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Пневматические приводы получили широкое распространение в технологическом оборудовании благодаря низкой стоимости, малой чувствительности к условиям работы и высоким скоростям перемещения груза. Тем не менее, резервы пневматических приводов с точки зрения повышения точности, надежности и долговечности технологического оборудования на их основе далеко не исчерпаны [1].

Разработанный привод [2] (см. рисунок) содержит силовой пневмоцилиндр 1, взаимодействующий с переменной массой 2, двухпозиционный четырёхлинейный управляющий воздухораспределитель 3, выхлопной канал 4 которого через двухлинейные распределители 5, 6, 7 соединён с набором регулируемых пневмоёмкостей 8, 9, 10 и через дроссель 11 с атмосферой, пневматический программный блок 12, связанный с управляющими входами 13, 14, 15, 16 распределителей 3, 5, 6, 7. Рабочее место 17 заготовок 2, с которыми оперирует привод технологической машины, снабжено преобразователем типа масса-код 18, состоящим из устройства взвешивания (весов) 19, преобразователя типа аналого-цифровой двоичный код 20, выполненного в виде группы (гребёнки) питающих сопел 21 и соосных им групп приёмных сопел 22, между которыми перемещается связанный с подвижной частью весов 23 входной элемент 24 в виде заслонки, на которой может быть нанесена кодовая маска (система отверстий), к примеру, в виде кода Грея, а выходы 25, 26, 27 преобразователя 18 соединены непосредственно или через дешифратор кода Грея (не показан) с входами логических модулей 28, 29, 30, состоящих из цепочки логических элементов в виде триггера (памяти) 31, 32, 33 с отдельными входами (S, R) и элементов, реализующих логические функции «ИЛИ», «И» 34, 35, 36, 37, 38 и выполненных на струйных турбулентных элементах (типа СЛ) 39, 40, 41, 42, 43 (как пример струйные элементы показаны для модуля 30, аналогично и для модулей 28, 29), реализующих функцию «НЕ-ИЛИ» на четыре управляющих входа. Выходы модулей соединены с управляющими входами 14, 15, 16 распределителей 5, 6, 7, входы – с выходами 44, 45, 46, 47, 48 программного блока 12.

В исходном положении поршень пневмоцилиндра 1 находится в крайнем левом положении, управляющие сигналы 45, 46, 47 с программного блока 12 поданы на входы модулей 28, 29, 30, что вызывает появление сигналов с триггеров 31, 32, 33 на входах 14, 15, 16, пневмоёмкости 8, 9, 10

через распределители 5, 6, 7 подключены к выхлопному каналу 4 и через дроссель 11 к атмосфере, сигнал в канале 13 отсутствует. При выдвигании штока цилиндра 1 без груза (вправо) с блока 12 подаётся сигнал в канал 13, распределитель 3 срабатывает, поршень цилиндра перемещается вправо, воздух из правой (выхлопной) полости цилиндра 1 через канал 4 заполняет ёмкости 8, 9, 10, в них сжимается и одновременно сбрасывается через дроссель 11 в атмосферу. «Пневматическая пружина» ёмкости – дроссель при этом притормаживает поршень в конце хода, обеспечивая безударный останов.

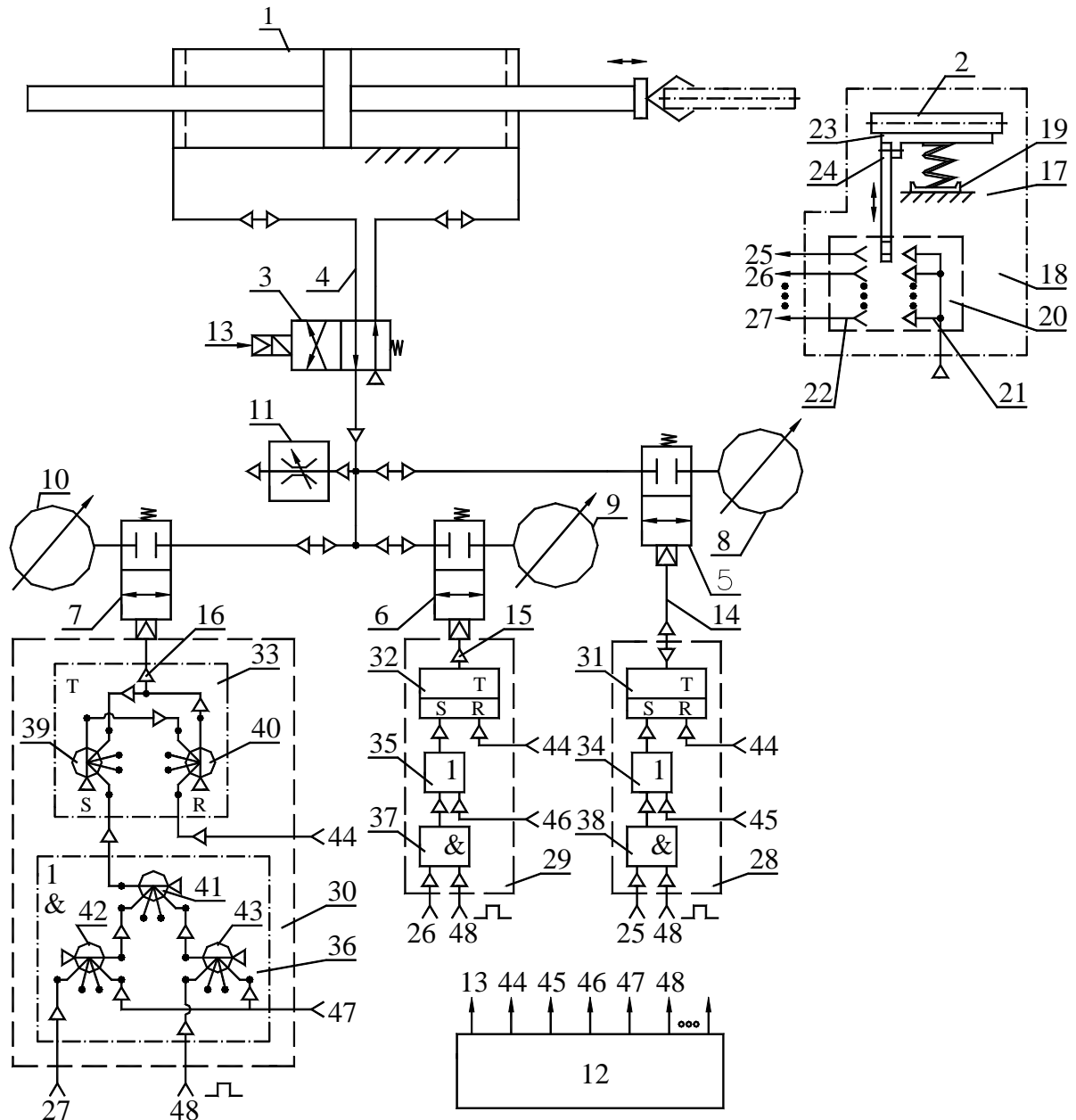


Схема привода

Перед захватом груза 2 с блока 12 подаётся сигнал по каналу 44, триггеры (память) переключаются (сброс памяти), ёмкости 8, 9, 10 отключаются от канала 4. После этого сигнал 44 снимается и блоком 12 подаётся импульсный сигнал по каналу 48, при этом сигналы с выходов 25, 26, 27 преобразователя 18 через элементы 36, 37, 38, 34, 35 включают все или некоторые триггеры 31, 32, 33 и подключают те или иные ёмкости 8, 9, 10 к каналу 4. Затем блоком 12 снимается сигнал 13, распределитель 3 возвращается в исходное состояние, поршень цилиндра 1 перемещается влево, плавно тормозится в конце хода и останавливается. Цикл заканчивается.

При работе с грузами 2 большей массы подвижное звено 23 весов 19 смещается вниз. Вниз (по рисунку) смещается и шторка 24, что приводит к перекрытию подачи сжатого воздуха с сопел 21 к соплам 22 и исчезновению сигналов на выходах 25, 26, 27. Чем больше масса груза 2, тем меньшее число приёмных сопел 22 имеют выходной сигнал, т.е. в перекрытых приёмных соплах давление будет равно нулю, а это вызовет отключение (тех или иных) ёмкостей 8, 9, 10 от канала 4, что приведёт к увеличению жёсткости «пневматической пружины» ёмкость-дрессель и большей интенсивности торможения более тяжёлой по массе заготовки 2.

Таким образом, при работе привода с заготовками разной массы осуществляется опережающее перестраивание структуры привода, т.е. его адаптация к изменяющейся внешней среде (нагрузке). Это позволяет избежать ударов поршня о крышку цилиндра в конце хода, что повышает производительность, точность и долговечность технологического оборудования. Кроме того, отсутствие ударов в конце хода повышает быстродействие оборудования на базе данного привода. Данные выводы подтверждены машинными экспериментами с математической моделью привода и экспериментальными исследованиями опытного образца [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов А.И., Романов А.В., Шеногин М.В. Проблемы и перспективы развития пневматических приводов. // Ученые Владимирского государственного университета – строительству: Сб. научн. тр. / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1999. – С. 144–146.
2. Евдокимов А.И., Шеногин М.В., Пиголкин С.А. Пневматический привод / Заявка на изобретение № 2000112810/20 (013526), положительное решение от 23.05.2000 г.
3. Шеногин М.В. Стенд для исследования переходных процессов пневматических приводов: Информ. л. № 9-2000. – Владимир: ЦНТИ, 2000.

## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автор	Город	Страница
Darowski M.	Польша, г. Варшава	184
Englisz M.	Польша, г. Варшава	184
Glapinski J.	Польша, г. Варшава	184
Kostka P.	Польша, г. Забже	184
Kosycarz E.	Польша, г. Варшава	184
Matota Z.	Польша, г. Забже	184
Nawrat Z.	Польша, г. Забже	184
Tkacz E.	Польша, г. Забже	184
Аблаев А.А.	Россия, г. Владимир	3
Абрамов Д.В.	Россия, г. Владимир	4
Азаренков А.А.	Россия, г. Новочеркасск	23
Алифанов А.Я.	Россия, г. Рыбинск	6, 8, 10
Андрианов В.Н.	Россия, г. Владимир	12
Аракелян С.М.	Россия, г. Владимир	4, 74
Архипова Е.А.	Россия, г. Владимир	14, 17
Баранов А.В.	Россия, г. Рыбинск	93
Барзов А.А.	Россия, г. Москва	95, 96, 141, 142, 187
Барсуков Г.В.	Россия, г. Орел	124
Басыров И.З.	Россия, г. Иваново	71
Безъязычный В.Ф.	Россия, г. Рыбинск	144
Белевич А.В.	Россия, г. Владимир	146, 188
Белкин Е.А.	Россия, г. Орел	124
Белов Д.М.	Россия, г. Владимир	4
Береговая Н.В.	Россия, г. Владимир	213
Богомоллов А.А.	Россия, г. Владимир	51
Бондаренко А.В.	Россия, г. Москва	119
Бояринов А.А.	Россия, г. Кашира	148
Бурнашов М.А.	Россия, г. Орел	19
Вдовин С.И.	Россия, г. Владимир	48, 51, 52, 193, 198
Веропаха Д.Н.	Россия, г. Новочеркасск	36, 190
Веропаха Н.В.	Россия, г. Новочеркасск	36, 190
Веселов А.О.	Россия, г. Владимир	216
Веселов О.В.	Россия, г. Владимир	216
Веселов С.В.	Россия, г. Владимир	78, 79
Воеводин С.А.	Россия, г. Владимир	216

Автор	Город	Страница
Воробьев В.Ф.	Россия, г. Иваново	71, 137
Вороненко В.П.,	Россия, г. Москва	22
Гавшин В.В.	Россия, г. Владимир	97
Газизуллин Р.Ф.	Россия, г. Москва	96
Гайдамакин В.А.	Россия, г. Новочеркасск	80
Галиновский А.Л.	Россия, г. Москва	95
Гасанов Б.Г.	Россия, г. Новочеркасск	23
Генералов Л.К.	Россия, г. Владимир	99
Глушков А.А.	Россия, г. Владимир	219
Гоголев Б.Б.	Россия, г. Владимир	100
Гольцов П.В.	Россия, г. Владимир	146, 188
Гольцова Е.А.	Россия, г. Владимир	213, 221
Гончарова С.Г.	Россия, г. Уфа	153
Горелов В.А.	Россия, г. Москва	102, 151
Гречишников В.А.	Россия, г. Москва	25
Григорьянц А.Г.	Россия, г. Москва	28
Гусев В.Г.	Россия, г. Владимир	103, 104, 132
Давыдов А.Н.	Россия, г. Владимир	106
Данилов Д.В.	Россия, г. Владимир	112
Денисенко В.И.	Россия, г. Владимир	109
Дмитриева И.В.	Россия, г. Владимир	193
Дорофеев Ю.Г.	Россия, г. Новочеркасск	29, 31
Дуери Х.	Россия, г. Владимир	227
Душанин П.Н.	Россия, г. Ярославль	202
Егоров И.Н.	Россия, г. Владимир	221
Елкин А.И.	Россия, г. Владимир	112
Емельянов Ю.В.	Россия, г. Рыбинск	144, 162
Ерёмкин А.В.	Россия, г. Новочеркасск	36
Еропова Е.В.	Россия, г. Владимир	224
Ефремов В.В.	Россия, г. Липецк	42
Жарков В.Н.	Россия, г. Владимир	69, 103, 113
Жарков Н.В.	Россия, г. Владимир	99, 235
Жаркова Н.В.	Россия, г. Владимир	104
Жданов А.В.	Россия, г. Владимир	115, 195, 227
Желобов А.А.	Россия, г. Владимир	117
Желобова Т.А.	Россия, г. Владимир	117
Зориктуев В.Ц.	Россия, г. Уфа	153

Автор	Город	Страница
Ильин Н.В.	Россия, г. Иваново	137
Ифанов А.В.	Россия, г. Владимир	229
Кайгородов Е.А.	Россия, г. Новочеркасск	80
Калачев О.Н.	Россия, г. Ярославль	155
Каллиоппин И.К.	Россия, г. Владимир	63
Картонова Л.В.	Россия, г. Владимир	34
Кечин В.А.	Россия, г. Владимир	35
Киселев О.В.	Россия, г. Владимир	188
Клементьев А.С.	Россия, г. Владимир	79
Климов Ю.Е.	Россия, г. Новочеркасск	36
Кобзев А.А.	Россия, г. Владимир	232, 235, 238
Ковальский В.А.	Россия, г. Владимир	240
Кодин А.А.	Россия, г. Владимир	39, 41
Кожина Т.Д.	Россия, г. Рыбинск	158
Козлов А.М.	Россия, г. Липецк	42
Козлов В.А.	Россия, г. Рыбинск	130, 144, 160, 162
Козлов О.В.	Россия, г. Владимир	179
Козырев В.В.	Россия, г. Владимир	243
Комарова Э.И.	Россия, г. Владимир	188
Комлев Г.А.,	Россия, г. Владимир	119
Коненков С.В.	Россия, г. Ковров	45
Корогодков Ю.Д.	Россия, г. Владимир	63
Коростелев В.Ф.	Россия, г. Владимир	196
Костерин А.Б.	Россия, г. Владимир	246
Кравченко В.А.	Россия, г. Москва	22
Кравченко Д.В.	Россия, г. Владимир	82
Крылов А.В.	Россия, г. Владимир	106
Крышталь П.И.	Россия, г. Владимир	181
Кузеванов В.Г.	Россия, г. Владимир	41, 62, 119
Кузнецов В.В.	Россия, г. Москва	46
Кузнецов В.Д.	Россия, г. Москва	25
Кузьмин Р.А.	Россия, г. Владимир	82
Куровцев Я.И.	Россия, г. Ярославль	202
Кустарев Ю.С.	Россия, г. Москва	46
Кучнова Э.В.	Россия, г. Новочеркасск	80
Лапшин Е.Н.	Россия, г. Владимир	164
Легаев В.П.	Россия, г. Владимир	48, 51, 52, 193, 198

Автор	Город	Страница
Лешина В.А.	Россия, г. Владимир	53, 54, 55
Логинов В.П.	Россия, г. Москва	187
Лукина С.В.	Россия, г. Москва	25
Лучанинов А.Н.	Россия, г. Владимир	248
Маклакова И.Ю.	Россия, г. Владимир	238
Мамаев Д.В.	Россия, г. Владимир	195
Марыгин А.Л.	Россия, г. Владимир	251
Марычев С.Н.	Россия, г. Владимир	172
Медунецкий В.М.	Россия, г. Санкт-Петербург	56
Месягутов И.Ф.	Россия, г. Уфа	153
Мигранов М.Ш.	Россия, г. Уфа	121
Милаев В.А.	Россия, г. Ковров	166
Мимеев А.Н.	Россия, г. Владимир	54
Миронова Е.В.	Россия, г. Владимир	55
Михайлов Р.Г.	Россия, г. Владимир	253
Мишулин Ю.Е.	Россия, г. Владимир	254, 257
Морозов В.В.	Россия, г. Владимир	169, 199, 207
Мышова Е.А.	Россия, г. Владимир	251
Мясников В.К.	Россия, г. Ярославль	202
Назаров А.А.	Россия, г. Владимир	12
Немонтов В.А.	Россия, г. Владимир	257, 261
Никашкин А.Н.	Россия, г. Владимир	216
Николаев Е.В.	Россия, г. Владимир	58
Новикова Е.А.	Россия, г. Владимир	207
Новикова Н.А.	Россия, г. Владимир	257
Новикова Ю.А.	Россия, г. Владимир	199
Оленев Е.А.	Россия, г. Владимир	172
Орлов А.С.	Россия, г. Иваново	71, 137
Орлов Д.Ю.	Россия, г. Владимир	209, 211
Орлов Ю.А.	Россия, г. Владимир	209, 211
Панфилов А.А.	Россия, г. Владимир	60, 62, 63
Панфилов А.В.	Россия, г. Владимир	63, 74
Паринов С.М.	Россия, г. Владимир	119
Петров А.С.	Россия, г. Владимир	66
Петухов Е.Н.	Россия, г. Владимир	82, 85
Пиголкин С.А.	Россия, г. Владимир	265
Пичужкин И.В.	Россия, г. Владимир	69

Автор	Город	Страница
Подзолков М.Г.	Россия, г. Орел	127
Полетаев В.А.	Россия, г. Иваново	71, 137
Поляков Р.Н.	Россия, г. Владимир	243
Пономарев О.А.	Россия, г. Липецк	42
Постнов В.В.	Россия, г. Уфа	121
Прокошев В.Г.	Россия, г. Владимир	4, 74
Пучежский А.А.	Россия, г. Владимир	209, 211
Пшеничников Э.Ю.	Россия, г. Москва	96, 141
Рассказчиков Н.Г.	Россия, г. Владимир	90, 196
Родькин К.П.	Россия, г. Москва	46
Рулева Т.В.	Россия, г. Ковров	166, 174
Румянцев С.А.	Россия, г. Владимир	253
Рыкунов А.Н.	Россия, г. Рыбинск	122
Сальников С.К.	Россия, г. Москва	142
Светляков О.В.	Россия, г. Владимир	109
Селеменев М.Ф.	Россия, г. Орел	135
Семенов А.В.	Россия, г. Владимир	62
Семенюк А.Н.	Россия, г. Владимир	77, 78, 79
Сергеенко С.Н.	Россия, г. Новочеркасск	29,31
Скориков А.В.	Россия, г. Новочеркасск	80
Смирнов Ф.В.	Россия, г. Рыбинск	160, 162
Соколов А.Н.	Россия, г. Ковров	174
Соколова О.Е.	Россия, г. Ковров	174
Солодов Д.В.	Россия, г. Рыбинск	158
Степанов Ю.С.	Россия, г. Орел	19, 124, 127
Сысоев С.Н.	Россия, г. Владимир	219, 224, 253, 263
Тихомиров М.Н.	Россия, г. Ярославль	155
Тихомиров Р.А.	Россия, г. Владимир	82, 85
Трусов В.В.	Россия, г. Рыбинск	130
Умнов В.П.	Россия, г. Владимир	213, 221, 251
Фаткин А.А.	Россия, г. Ковров	166
Федоров С.В.	Россия, г. Владимир	52, 198
Федотов О.В.	Россия, г. Владимир	243
Федулов О.Ф.	Россия, г. Владимир	188
Филимонов В.Н.	Россия, г. Владимир	106, 248
Фролов В.А.	Россия, г. Владимир	188
Хабаров А.С.	Россия, г. Владимир	132



Автор	Город	Страница
Харитонов В.Н.	Россия, г. Москва	142
Хоменко Л.А.	Россия, г. Владимир	85
Худякова Е.О.	Россия, г. Владимир	133
Червонный В.А.	Россия, г. Новочеркасск	29
Черепенько А.А.	Россия, г. Орел	135
Черепенько А.П.	Россия, г. Орел	19, 135
Черная О.Н.	Россия, г. Новочеркасск	31
Чернобровкина Е.И.	Россия, г. Новочеркасск	29
Шевченко А.П.	Россия, г. Владимир	14, 17
Шевченко Н.В.	Россия, г. Новочеркасск	36
Шеин И.П.	Россия, г. Владимир	177, 179
Шеногин М.В.	Россия, г. Владимир	265
Шинаков И.В.	Россия, г. Владимир	115
Шипко М.Н.	Россия, г. Иваново	137
Шишин С.И.	Россия, г. Владимир	4, 74
Шмыгов Е.И.	Россия, г. Владимир	181
Шульга Г.И.	Россия, г. Новочеркасск	88
Шульга Т.Г.	Россия, г. Новочеркасск	88
Щека А.А.	Россия, г. Владимир	243
Югов В.И.	Россия, г. Владимир	90

### СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СБОРНИКА

Число авторов	203
Число статей	125
Количество докторов наук и профессоров	22
Количество городов	14
Количество стран	2

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Секция 1. Высокоэффективные технологии машиностроительного производства .....</b>	<b>3</b>
<i>Аблаев А.А.</i> Нанесение износостойких покрытий на детали авиационной техники.....	3
<i>Абрамов Д.В., Аракелян С.М., Белов Д.М., Прокошев В.Г., Шишин С.И.</i> Механизм развития лазерноиндуцированной термокапиллярной конвекции при создании отверстий в металлических материалах.....	4
<i>Алифанов А.Я.</i> Электротехнология обработки кольцевых деталей.....	6
<i>Алифанов А.Я.</i> Конструирование оборудования для электромеханической обработки.....	8
<i>Алифанов А.Я.</i> Создание электроинструмента для электромеханической обработки.....	10
<i>Андрианов В.Н., Назаров А.А.</i> Повышение эффективности нанесения отражающих и защитных покрытий на рефлекторы автомобильных фар.....	12
<i>Архипова Е.А., Шевченко А.П.</i> Направляющий орган ткацкого станка....	14
<i>Архипова Е.А., Шевченко А.П.</i> Динамическая система воспроизведения совмещенных перегрузок.....	17
<i>Бурнашов М.А., Степанов Ю.С., Черепенько А.П.</i> Влияние технологических параметров раскроя технических текстильных материалов сверхзвуковой струей жидкости на намокание кромки реза ...	19
<i>Вороненко В.П., Кравченко В.А.</i> Технологическое проектирование гибких автоматизированных сборочных производств.....	22
<i>Гасанов Б.Г., Азаренков А.А.</i> Избирательный перенос меди в порошковых материалах.....	23
<i>Гречишников В.А., Лукина С.В., Кузнецов В.Д.</i> Пути повышения эффективности чистовой металлообработки .....	25
<i>Григорьянц А.Г.</i> Перспективы использования многофункциональных твердотельных технологических лазеров в производстве .....	28
<i>Дорофеев Ю.Г., Сергеенко С.Н., Червоный В.А., Чернобровкина Е.И.</i> Горячая штамповка заготовок, полученных напылением алюминиевых сплавов.....	29
<i>Дорофеев Ю.Г., Черная О.Н., Сергеенко С.Н.</i> Оптимизация технологии для изготовления подшипников скольжения на основе металлоглазанных активированных порошковых шихт.....	31
<i>Картонова Л.В.</i> Ускорение процесса цементации стальных деталей .....	34

<b>Кечин В.А.</b> Магниевоы сплавы в машиностроении.....	35
<b>Климов Ю.Е., Ерёмкин А.В., Веропаха Д.Н., Веропаха Н.В., Шевченко Н.В.</b> Получение коррозионно- и износостойких порошковых материалов на основе железа методами нанесения покрытий .....	36
<b>Кодин А.А.</b> Выбор оптимальной геометрии инструмента для пластического протягивания отверстий.....	39
<b>Кодин А.А., Кузеванов В.Г.</b> Применение выглаживания для финишной обработки втулок.....	41
<b>Козлов А.М., Ефремов В.В., Пономарев О.А.</b> Моделирование контакта шероховатых поверхностей .....	42
<b>Конанков С.В.</b> Методика моделирования технологического процесса гидропластического формообразования полых деталей из трубных заготовок .....	45
<b>Кустарев Ю.С., Кузнецов В.В., Родькин К.П.</b> О возможности применения энергоаккумулирующих веществ для нанесения защитных покрытий .....	46
<b>Легаев В.П., Вдовин С.И.</b> Некоторые вопросы создания аэростатической опоры с системой автоматического регулирования.....	48
<b>Легаев В.П., Вдовин С.И., Богомолов А.А.</b> Аэростатическая опора.....	51
<b>Легаев В.П., Федоров С.В., Вдовин С.И.</b> Лазерное измерение скорости потока и акустооптический эффект.....	52
<b>Лешина В.А.</b> Тугоплавкие неорганические материалы для машиностроения.....	53
<b>Лешина В.А., Мимеев А.Н.</b> Конструкционные стеклокристаллические материалы.....	54
<b>Лешина В.А., Миронова Е.В.</b> Машинообрабатываемая стеклокерамика.....	55
<b>Медунецкий В.М.</b> Метод получения оболочковых металло-композиционных деталей сложной формы на примере изготовления зубчатых венцов .....	56
<b>Николаев Е.В.</b> Лабораторные испытания узлов машин на воздействие периодических механических перегрузок .....	58
<b>Панфилов А.А.</b> Взаимодействие фаз в литых полиармированных композиционных материалах системы Al-Ti-SiC .....	60
<b>Панфилов А.А., Кузеванов В.Г., Семенов А.В.</b> Механическая обработка литых композиционных материалов на алюминиевой основе с высококомодульными наполнителями.....	62
<b>Панфилов А.В., Каллиопин И.К., Панфилов А.А., Корогодов Ю.Д.</b> Новые триботехнические композиты в машиностроении .....	63

<i>Петров А.С.</i> Физико-механические свойства постоянных магнитов неодим-железо-бор после повторной термической обработки .....	66
<i>Пичужкин И.В., Жарков В.Н.</i> Стратегия развития промышленного производства: новый концептуальный подход .....	69
<i>Поletaев В.А., Воробьев В.Ф., Басыров И.З., Орлов А.С.</i> Обеспечение качества поверхности при импульсной магнитной обработке .....	71
<i>Прокошев В.Г., Шишин С.И., Панфилов А.В., Аракелян С.М.</i> Особенности лазерного поверхностного легирования порошковыми материалами алюминиевого сплава .....	74
<i>Семенюк А.Н.</i> Способы организации двигательных систем ротационных испытательных стендов .....	77
<i>Семенюк А.Н., Веселов С.В.</i> Основные этапы создания ротационных стендов .....	78
<i>Семенюк А.Н., Клементьев А.С., Веселов С.В.</i> Общая методика проектирования ротационных испытательных стендов .....	79
<i>Скориков А.В., Кучнова Э.В., Кайгородов Е.А., Гайдамакин В.А.</i> Поверхностная обработка горячедеформированных порошковых материалов .....	80
<i>Тихомиров Р.А., Петухов Е.Н., Кравченко Д.В., Кузьмин Р.А.</i> Технологические особенности обработки материалов сверхзвуковыми струями жидкости различного состава .....	82
<i>Хоменко Л.А., Тихомиров Р.А., Петухов Е.Н.</i> О проблеме обработки фольгированных полимеров сверхзвуковой струей жидкости .....	85
<i>Шульга Г.И., Шульга Т.Г.</i> Интеллектуальные триботехнологии при обработке материалов .....	88
<i>Югов В.И., Рассказчиков Н.Г.</i> Исследование процессов лазерной обработки в производстве изделий из стекла, стекловолокон, стеклотканей и материалов на их основе .....	90
<b>Секция 2. Обеспечение качества технологического оборудования и обрабатываемого инструмента .....</b>	<b>93</b>
<i>Баранов А.В.</i> Аналитический метод оптимизации режимов резания при обработке отверстий осевым инструментом .....	93
<i>Барзов А.А., Галиновский А.Л.</i> Анализ работоспособности композиционного алмазно-твердосплавного клеесборного режущего инструмента .....	95
<i>Барзов А.А., Пшеничников Э.Ю., Газизуллин Р.Ф.</i> Анализ структурно-кинетического фактора при формообразовании деталей из высокопластичных материалов .....	96

<b>Гавшин В.В.</b> Самоустанавливающиеся газостатические опорные узлы ....	97
<b>Генералов Л.К., Жарков Н.В.</b> Постановка задачи оптимального управления процессом механической обработки .....	99
<b>Гоголев Б.Б.</b> Эффективный синтез элементов высшей кинематической пары и инструмента для их изготовления .....	100
<b>Горелов В.А.</b> Анализ многокоординатного резания методом акустической эмиссии (АЭ) .....	102
<b>Гусев В.Г., Жарков В.Н.</b> Тангенциальная составляющая силы резания дискретными шлифовальными кругами .....	103
<b>Гусев В.Г., Жаркова Н.В.</b> Энергия взаимодействия режущего сегмента дискретного шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой .....	104
<b>Давыдов А.Н., Крылов А.В., Филимонов В.Н.</b> Технологические особенности изготовления зубчатых планетарных муфт свободного хода .....	106
<b>Денисенко В.И., Светляков О.В.</b> Применение вейвлет-анализа для исследования режимов резания .....	109
<b>Елкин А.И., Данилов Д.В.</b> Исследование напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента .....	112
<b>Жарков В.Н.</b> Повышение производительности обработки шлифованием на этапе подготовки кругов к работе .....	113
<b>Жданов А.В., Шинаков И.В.</b> Прогнозирование надежности резьбонарезного технологического оборудования .....	115
<b>Желобова Т.А., Желобов А.А.</b> Возможности перициклоидального фрезерования плоских поверхностей .....	117
<b>Кузеванов В.Г., Комлев Г.А., Паринов С.М., Бондаренко А.В.</b> Восстановление и упрочнение измерительного инструмента при обточке колесных пар вагонов .....	119
<b>Мигранов М.Ш., Постнов В.В.</b> Оптимизация изнашивания лезвийного инструмента при обработке жаро- и особопрочных материалов .....	121
<b>Рыкунов А.Н.</b> Особенности процессов микрорезания металлов и их моделирование на примере тонкого точения .....	122
<b>Степанов Ю.С., Подзолков М.Г.</b> Обеспечение качества поверхностного слоя при абразивной обработке кругами с продольно прерывистым аксиально-смещенным режущим слоем .....	124
<b>Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Белкин Е.А.</b> Математическое моделирование трехмерного изображения геометрических параметров поверхностного слоя деталей машин .....	127

<i>Трусов В.В., Козлов В.А.</i> Конструкционное усовершенствование режущих инструментов с целью повышения их работоспособности .....	130
<i>Хабаров А.С., Гусев В.Г.</i> Возможность получения шлифовального круга без связки .....	132
<i>Худякова Е.О.</i> Повышение качества размерной обработки материалов ..	133
<b><i>Черепенько А.А., Селеменев М.Ф., Черепенько А.П.</i></b>	
Экспериментальные исследования механического нагружения рабочих поверхностей гладильных подушек в процессе выравнивания ..	135
<b><i>Шипко М.Н., Полетаев В.А., Воробьев В.Ф., Ильин Н.В., Орлов А.С.</i></b>	
Повышение эффективности азотирования инструментальных сталей в газовых средах низкого давления .....	137
<b>Секция 3. Информационные технологии в машиностроении .....</b>	<b>141</b>
<b><i>Барзов А.А., Сальников С.К., Харитонов В.Н.</i></b> Применение теории принятия решений для оценки путей повышения эффективности абразивно-жидкостной резки материалов .....	
	141
<b><i>Барзов А.А., Пшеничников Э.Ю.</i></b> Вероятностный подход к анализу погрешностей базирования станочных приспособлений.....	
	142
<b><i>Безъязычный В.Ф., Козлов В.А., Емельянов Ю.В.</i></b>	
Автоматизированное повышение точности токарной обработки на станках с ЧПУ путем динамической оптимизации режимов резания.....	144
<b><i>Белевич А.В., Гольцов П.В.</i></b> Оценка точности конечно-элементных схем при численном моделировании процесса передачи тепла в технологических системах .....	
	146
<b><i>Бояринов А.А.</i></b> Постпроцессорная переработка информации .....	
	148
<b><i>Горелов В.А.</i></b> Оценка влияния свойств заготовок дисков ГТД на последующую механическую обработку.....	
	151
<b><i>Зориктуев В.Ц., Гончарова С.Г., Месягутов И.Ф.</i></b> Методика синтеза информационной управляющей системы процессом металлообработки .	
	153
<b><i>Калачев О.Н., Тихомиров М.Н.</i></b> Разработка интерактивной системы KON7 для расчета размеров механообработки .....	
	155
<b><i>Кожина Т.Д., Солодов Д.В.</i></b> Особенности компьютеризированной технологии изготовления деталей .....	
	158
<b><i>Козлов В.А., Смирнов Ф.В.</i></b> Повышение эффективности процесса точения на основе структурно-параметрической оптимизации технологических условий обработки .....	
	160
<b><i>Козлов В.А., Смирнов Ф.В., Емельянов Ю.В.</i></b> Автоматизированное определение выходных характеристик токарной обработки на стадии технологической подготовки производства .....	
	162

<i>Лапшин Е.Н.</i> Определение степени влияния коррозионной каверны на прочность трубопровода с помощью метода конечных элементов.....	164
<i>Милаев В.А., Фаткин А.А., Рулева Т.В.</i> Влияние качества технической подготовки на срок запуска изделий в условиях мелкосерийного производства .....	166
<i>Морозов В.В.</i> Современные информационные технологии в управлении машиностроительным производством.....	169
<i>Оленев Е.А., Марычев С.Н.</i> Измерение массы железнодорожного вагона в процессе движения.....	172
<i>Соколов А.Н., Соколова О.Е., Рулева Т.В.</i> Автоматизированная идентификация стандартных ДСЕ, ПКИ, материалов – основа стандартизации требований к структуре нормативных документов.....	174
<i>Шеин И.П.</i> Разработка и методы исследования математической модели виброактивности технологических приводов.....	177
<i>Шеин И.П., Козлов О.В.</i> Разработка конструкции пресс-формы с применением системы Pro/ENGINEER.....	179
<i>Шмыгов Е.И., Крышталъ П.И.</i> Система автоматизированной поддержки инженерных решений при проектировании литевых пресс-форм для деталей из термопластов.....	181
<b>Секция 4. Новые инженерные технологии в образовании и медицине .....</b>	<b>184</b>
<i>Kostka P., Nawrat Z., Tkacz E., Matota Z.</i> Dynamic mathematical model of the heart valve – a comparative study of different heart valve prosthesis....	184
<i>Kosycarz E., Glapinski J., Englisz M., Darowski M.</i> Flow triggering and electroimpedance methods in ventilatory assistance.....	184
<i>Барзов А.А., Логинов В.П.</i> Структура проекта государственного образовательного стандарта послевузовского профессионального образования по отрасли 05.00.00 «Технические науки» .....	187
<i>Белевич А.В., Гольцов П.В., Комарова Э.И., Киселев О.В., Федулов О.Ф., Фролов В.А.</i> Совершенствование методики и опыт практических занятий с применением компьютерного моделирования ...	188
<i>Веропаха Н.В., Веропаха Д.Н.</i> Комплексные проблемы образования инженеров-механиков.....	190
<i>Дмитриева И.В., Легаев В.П., Вдовин С.И.</i> Современная экспресс-диагностика сердечно-сосудистой патологии на уровне микроциркуляторного звена .....	193
<i>Жданов А.В., Мамаев Д.В.</i> Создание цифровой системы управления автономным имплантируемым аппаратом вспомогательного кровообращения .....	195

<i>Коростелев В.Ф., Рассказчиков Н.Г.</i> Программно-аппаратный комплекс автоматизации учебного лабораторного эксперимента для инженерных дисциплин.....	196
<i>Легаев В.П., Федоров С.В., Вдовин С.И.</i> Анализатор состояния сосудистой системы человека.....	198
<i>Морозов В.В., Новикова Ю.А.</i> Биотехнические проблемы создания трансплантируемого искусственного сердца .....	199
<i>Мясников В.К., Душанин П.Н., Куровцев Я.И.</i> Компьютерные тренажерные комплексы как новые инженерные технологии в образовании.....	202
<i>Новикова Е.А., Морозов В.В.</i> Место информационных систем и технологий при подготовке инженеров для машиностроения.....	207
<i>Орлов Д.Ю., Орлов Ю.А., Пучежский А.А.</i> Исследование износостойкости подшипникового материала протеза бедра .....	209
<i>Пучежский А.А., Орлов Ю.А., Орлов Д.Ю.</i> Вопросы гигиены труда в машинно-ванном цехе производства тарного стекла .....	211
<b>Секция 5. Мехатроника и робототехника .....</b>	<b>213</b>
<i>Береговая Н.В., Гольцова Е.А., Умнов В.П.</i> Формирование исполнительной кинематической цепи технологического лазер-робота..	213
<i>Веселов О.В., Никашкин А.Н., Веселов А.О., Воеводин С.А.</i> Идентификация параметров двигателей постоянного тока по импульсному входному воздействию .....	216
<i>Глушков А.А., Сысоев С.Н.</i> Управление приводом манипуляционного механизма с рекуперацией механической энергии по величине контактного взаимодействия исполнительного органа с жёстким упором .....	219
<i>Егоров И.Н., Умнов В.П., Гольцова Е.А.</i> Построение и управление движением многофункциональных технологических лазер-роботов .....	221
<i>Еропова Е.В., Сысоев С.Н.</i> Параметрические исследования вакуумного захватного модуля.....	224
<i>Жданов А.В., Дуери Х.</i> Порядок проектирования моноблочных приводов систем управления технологическим оборудованием .....	227
<i>Ифанов А.В.</i> Аналитическое и структурное представление процесса лазерной резки .....	229
<i>Кобзев А.А.</i> Модификация четвертой формы инвариантности в системах управления технологического оборудования .....	232
<i>Кобзев А.А., Жарков Н.В.</i> Повышение точности токарной обработки на основе использования модели процесса резания.....	235



<b>Кобзев А.А., Маклакова И.Ю.</b> Двухкоординатная система управления технологическими процессами .....	238
<b>Ковальский В.А.</b> Программная компенсация люфта в приводах станков ЧПУ .....	240
<b>Козырев В.В., Федотов О.В., Поляков Р.Н., Щека А.А.</b> Исследование влияния погрешностей зубчатых венцов роликовинтовой передач и на ее кинематическую точность .....	243
<b>Костерин А.Б.</b> Моделирование законов управления для компенсации автоколебаний в системе с люфтом.....	246
<b>Лучанинов А.Н., Филимонов В.Н.</b> Разработка зубчатых планетарных муфт свободного хода для приводов стартеров.....	248
<b>Марыгин А.Л., Мышова Е.А., Умнов В.П.</b> Системы моментной разгрузки в технологических лазер-роботах с замкнутыми кинематическими цепями.....	251
<b>Михайлов Р.Г., Румянцев С.А., Сысоев С.Н.</b> Поиское конструирование активного контроля технологического процесса хонингования .....	253
<b>Мишулин Ю.Е.</b> Система управления электроприводами микроперемещений .....	254
<b>Мишулин Ю.Е., Немонтов В.А., Новикова Н.А.</b> Анализатор входных воздействий в системах управления технологическим оборудованием ...	257
<b>Немонтов В.А.</b> Оценка вычислительных ресурсов системы управления технологическим оборудованием .....	261
<b>Сысоев С.Н.</b> Прогнозирование развития элементной базы автоматизированного производственного оборудования с позиций методологии поискового конструирования.....	263
<b>Шеногин М.В., Пиголкин С.А.</b> Адаптивный пневматический привод для машиностроительного оборудования.....	265
<b>Именной указатель</b> .....	268
<b>Статистические данные сборника</b> .....	273

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Материалы I Международной  
научно-технической конференции*

Корректоры    Е.А. Амирсейидова  
                      Е.П. Викулова  
                      А.П. Володина  
                      В.В. Гурова

Компьютерная верстка А.Б. Костерин  
Дизайн обложки А.О. Седов

Изд. лиц. № 020275 от 13.11.96. Подписано в печать 08.05.01.  
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 17,5. Тираж 200 экз.

Заказ

Владимирский государственный университет.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87

Отпечатано в ООО «Издательство Посад»  
600015, Владимир, просп. Ленина, 22