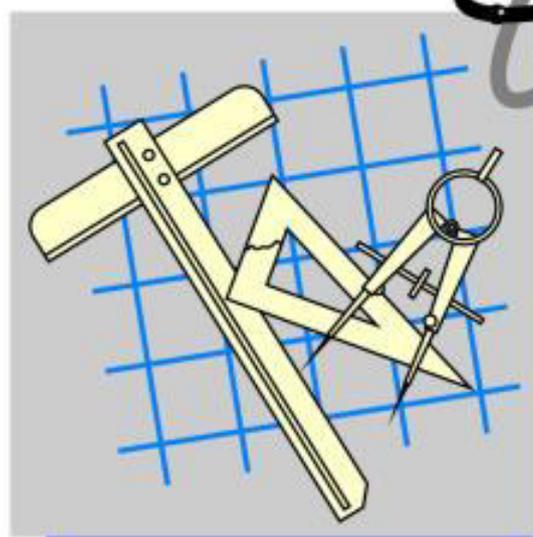
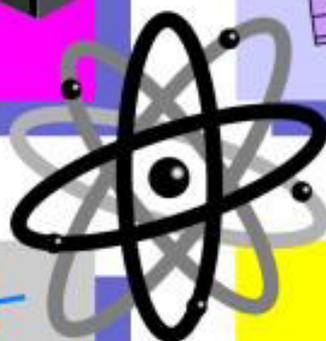
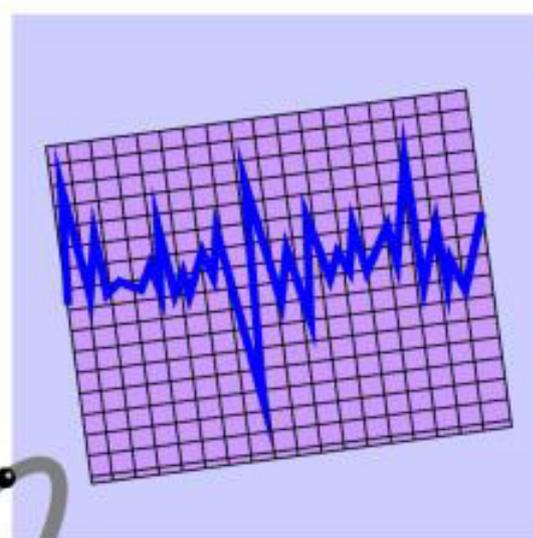


*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№2 (30) 2020



ДОНЕЦК-2020



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 2(30)'2020

Донецк – 2020

УДК 62

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 5 от 27 ноября 2020 г.)

Журнал «Инженер» ориентирован на публикацию научных работ студентов, магистрантов, стажеров, аспирантов, молодых специалистов по вопросам: создания и применения прогрессивных технологий; информационных технологий; механизации и автоматизации производственных процессов; управления качеством, метрологии, сертификации; вопросам экономической теории и практики; моделирования, расчетов и проектирования сложных технических систем, экологических проблем промышленности.

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Учредитель – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Ивченко Т.Г..
Лахин А.М..

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Грубка Р. М., Гусев В.В., Коваленко В. И., Навка И. П., Селивра С. А., Чернышев Е. А.

Адрес редакции:

ДонНТУ, каф. ТМ
6-й учебный корпус, 6.305
ул. Артема, 58
283001, г. Донецк
Тел.: +38-062-305-01-04
Факс: +38-062- 305-01-04

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Донецкой Народной Республики. Регистрационный номер 000134 от 06 июня 2017 г.

ISSN 2073-5804

© ГОУВПО «Донецкий национальный
технический университет», 2020

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОЙ САПР СИСТЕМЫ

Луцик М. М., Газе Т. В., Буленков Е. А. (кафедра ТМ, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрена возможность горизонтальной интеграции участников машиностроительного производства с помощью облачной САПР Onshape.

Ключевые слова: горизонтальная интеграция, Индустрия 4.0, САПР.

Развитие машиностроения в условиях Индустрии 4.0 требует от машиностроительных предприятий внедрения целого ряда ключевых технологий: облачных технологий, виртуальной и дополненной реальности, интернета вещей, умных роботов, и ряда других технологий [1-3]. Повышенные требования к ускорению освоения новой продукции требуют от машиностроительных предприятий широкого внедрения еще одной ключевой технологии Индустрии 4.0, - горизонтальной интеграции всех составляющих производственного процесса. Одним из средств данной горизонтальной интеграции может выступать программный продукт Onshape. Данная программа позволяет легко обмениваться информацией между всеми участниками производственного процесса [4].

Целью данной работы является повышение эффективности производства путём горизонтальной интеграции всех участников производственного процесса с использованием облачной САПР Onshape.

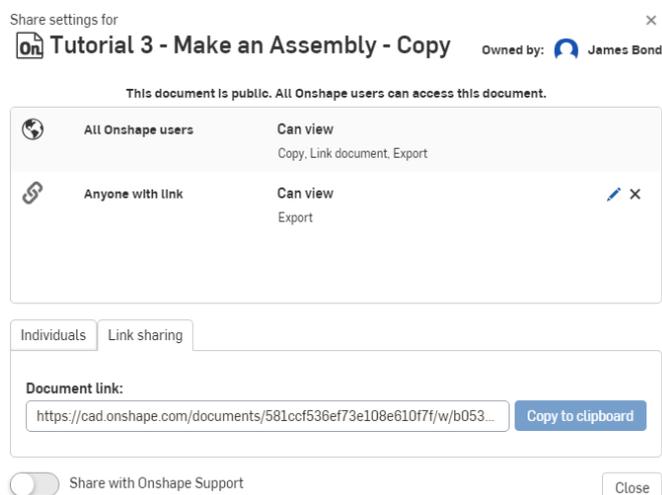


Рис. 1. Совместная работа.

мобильных устройств, так что работать с чертежами и моделями теперь можно где угодно.

Основное преимущество облачной САПР заключается в том, что все вычисления осуществляются на удалённом сервере. Таким образом, пользователю не нужно устанавливать на своём компьютере какие-либо программы или пересылать другим пользователям файлы или что-либо еще. Всё это уже находится в сети, достаточно отправить ссылку на нужный файл. В программе предусмотрен механизм

Onshape является современной CAD системой, объединяющей в себе преимущества полноценного конструкторского редактора и облачных технологий [4, 5]. Данная программа открывается в любом современном браузере и не требует инсталляции, расположение файлов в облачном хранилище дает возможность конструкторам работать за пределами предприятия, Onshape не требует дополнительных PDM приложений, так как имеет встроенный механизм контроля версий файлов. Кроме того, Onshape имеет приложения для

совместной работы над документами. На рисунке 1 представлен интерфейс программы, связанный с коллективной работой. Пользователь имеет возможность пригласить для совместной работы либо уже зарегистрированного пользователя Onshape, либо переслать ссылку на документ пользователю который не зарегистрирован в данном приложении. При этом, новый пользователь, перейдя по ссылке, попадёт на страницу с открытым файлом и будет иметь возможность увидеть деталь, прокомментировать, а также выполнить любые действия, которые разрешил автор файла. Пользователь, получивший ссылку на файл, имеет возможность создать аккаунт в Onshape и присоединиться к работе в любой момент времени (рис. 2).

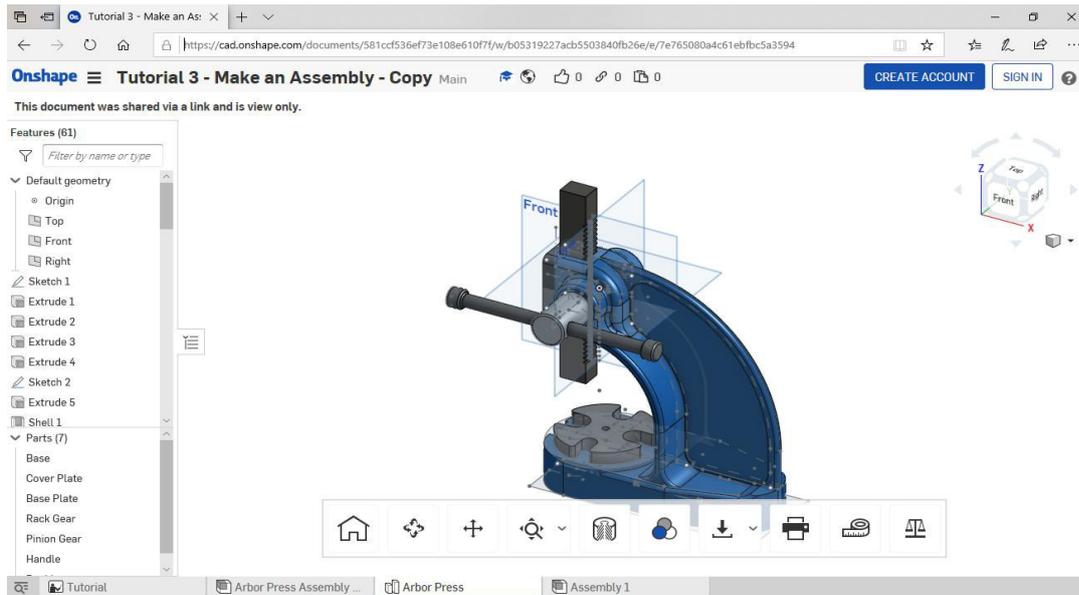


Рис. 2. Интерфейс программы приглашенного пользователя.

Таким образом, современное облачное приложение Onshape позволяет решать все требуемые задачи конструкторской подготовки производства без необходимости приобретения дорогостоящих программ и современных компьютеров. Onshape не требует дополнительных PDM приложений, так как имеет встроенный механизм контроля версий файлов. Все файлы хранятся в облаке, поэтому сильно упрощается горизонтальная интеграция между всеми участниками производственного процесса.

Список литературы: 1. Netty Zaharia, SimScale Top Trends in Industrial Design: From Green Engineering to the Cloud and Beyond // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <https://www.machinedesign.com/cad/top-trends-industrial-design-green-engineering-cloud-and-beyond>. – (17.09.2020). 2. Product Matrix // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <http://www.edrawingsviewer.com/ed/ProductMatrix.htm>. – (18.09.2020). 3. Олейник, И. М., Буленков, Е. А. Уменьшение ресурсоемкости конструкторской подготовки производства // Студ. науч.-техн. журнал «Инженер». – Донецк: ДонНТУ, 2015. – №1(19)-2(20). – С.105-110. 4. BENEFITS // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <https://www.onshape.com/benefits>. – (18.09.2020). 5. Maxey, Kyle Onshape Gets Serious // www.engineering.com.- Режим доступа - <http://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/10609/Onshape-Gets-Serious.aspx>. – (18.09.2020).

АПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫМ СТАНКОМ

Горобец И.А., Голубов Н.В., Рудой Е.Р. (каф. ТМ, ГОУВПО ДОННТУ, Донецк)

Аннотация: Предложена структурная схема технологической системы обработки фрезерованием. Рассмотрен характер изменений сил резания при фрезеровании поверхностей детали. Приведены условия оптимальной работы системы управления фрезерным станком при фрезеровании поверхности детали. Разработана структурная схема адаптивной системы управления фрезерным станком с ЧПУ.

Ключевые слова: заготовка, резание, характер, система, сила, станок.

Одним из важных вопросов в машиностроении является повышение точности изготовления деталей, уменьшение динамической нагруженности узлов металлорежущего оборудования, повышение долговечности и стойкости режущего инструмента.

Одним из факторов, определяющих эффективность современного производства, являются производительность в рамках заданных параметров качества поверхности обрабатываемой детали. Промышленным оборудованием, наиболее полно обеспечивающим вышеперечисленные требования, являются станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Однако в процессе эксплуатации станков с ЧПУ выявлен и существенный недостаток – отсутствие обратной связи между вторичными и первичными параметрами механической обработки. Структурную схему технологической системы обработки согласно можно представить в виде совокупности первичных (входных), вторичных (выходных) параметров [1] и физико-химического механизма резания (рис.1). К первичным параметрам относятся конструкторские параметры (деталь, ее материал М, размеры Р), технологические (режимы обработки и припуск на обработку), параметры обрабатывающей системы (станок Ст, приспособление Пр, инструмент Ин, технологическая среда Т.сп). Вторичными параметрами являются : точность Тч, качество поверхности Кп, стойкость Си инструмента, прочность инструмента ПИ, производительность Пр и экономичность Эк обработки.

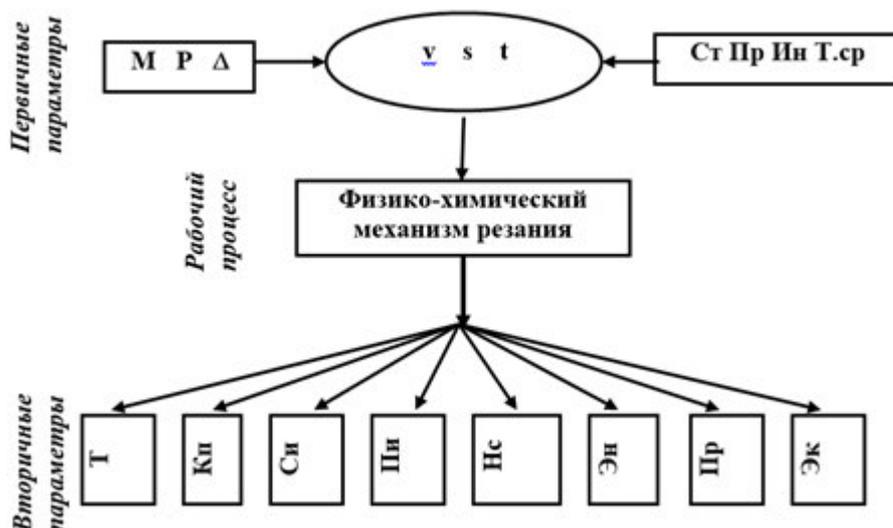


Рис.1. Технологическая система обработки

Наиболее актуальным этот вопрос является для вертикально-фрезерных станков с программными системами управления. При такой обработке происходит изменение глубины резания, следовательно, изменяются и усилия резания P_z и P_y [2]. Поскольку в образовании рельефа поверхности заготовки на заготовительных операциях участвуют много факторов и степень их влияния различна, то общее уравнение реальной обрабатываемой поверхности в поперечном сечении можно представить в виде ряда Фурье:

$$y(\rho) = \rho(\tau) + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\rho + b_n \sin n\rho)$$

где $\rho(\tau)$ – текущий действительный радиус заготовки как функция времени ; a_n, b_n – числовые коэффициенты, характеризующие неровность поверхностей, пропорциональные углу поворота заготовки и ее длине; n – порядок неровности на рассматриваемом сечении профиля заготовки от какого-либо фактора, расположенный по степени убывания влияния каждого фактора на изменение глубины резания инструмента Δt (или припуска Z), например, $n = 2$, если поверхность заготовки имеет овальность и т.д.; ρ – радиус действительной поверхности заготовки.

Принимая изменение силы резания пропорциональным изменению величины припуска, можно выражение этой силы представить в виде разложения также в ряд Фурье:

$$P(\tau) = C_p \left[p_0 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n \cos n\tau + b \sin n\tau \right],$$

где C_p – силовой коэффициент, учитывающий различные факторы процесса резания; P_0 – постоянная составляющая силы резания.

Предполагая, что возникновение вынужденных колебаний в зоне резания обусловлено теми явлениями, которые оказывают наибольшее влияние на изменение величины припуска, и ограничиваясь первым членом ряда, указанное выше выражение можно представить в виде:

$$P(\tau) = C_p \left[p_0 + \Delta P(\tau) \cos(\lambda\tau + \varphi) \right],$$

где $\Delta P(\tau)$ – амплитуда силы резания; λ – частота изменения этой силы; φ – сдвиг фазы.

Однако, на амплитуду силы резания будет оказывать влияние как изменение припуска, так и изменение поверхностной твердости заготовки в процессе резания:

$$\Delta P = C_p S^\alpha t^\gamma HB^{H-1} V^m (\rho HB \Delta t + nt \Delta HB)$$

где α, γ, H, m – показатели степени; HB – заданная твердость поверхности заготовки; S – подача инструмента; t – глубина резания; v – скорость резания; $\Delta HB, \Delta t$ – изменение соответственно твердости поверхности и глубины резания (припуска – при работе на настроенном на размер оборудовании). Изменение твердости поверхности носят случайный характер и не превышают 8...10% средней твердости заготовки. Плотность распределения вероятностей твердости близка к нормальному закону. Однако незначительный разброс значений твердости позволяет в первом приближении этот фактор не учитывать при решении рассматриваемой задачи.

Исследования, проведенные кафедрой “Технология машиностроения” ГОУВПО ДОННТУ позволили установить случайный характер величины общего припуска заготовок, полученных свободной ковкой, с плотностью вероятности распределяемой по закону Вейбулла. Следовательно, и сила резания также будет случайной функцией, а

стандартный вид дифференциального уравнения в этом случае будет описывать динамическую систему со случайным возмущением.

Для уменьшения изменений усилий резания была предложена адаптивная система управления вертикально-фрезерным станком, реализующая условие:

$$P \rightarrow P_{opt} = const, \text{ если } t = var.$$

За счет выполнения условий

$$V = var, S = var.$$

Однако при этом на варьируемые параметры S и V накладываются ограничения :

$$V < [V_{кр}], S < [S_{кр}].$$

Где $[V_{кр}], [S_{кр}]$ - предельные значения скорости резания и подачи режущего инструмента, допускаемые требованиями качества обрабатываемой поверхности и стойкости инструмента.

Адаптивная система управления, рис.2, состоит из сенсорного устройства 1, сигналы об усилиях резания P_z, P_y и P_x от которого направляются в блок сравнения 2, где сравниваются с заданными сигналами об оптимальных силах резания $P_{z_{орт}}, P_{y_{орт}}$ и $P_{x_{орт}}$ блока задания оптимальных усилий резания 3. Далее сигнал рассогласования попадает на блок 4 корректировки режимов резания и S , откуда попадает на устройство управления станком 5. В результате этого производится изменение частоты вращения шпинделя станка n и подачи S .

Таким образом, разработанная адаптивная система управления позволяет повысить точность обработки, производительность станков с программным управлением и стойкость режущего инструмента за счет использования рациональных режимов резания, адаптирующихся к изменению глубины резания.

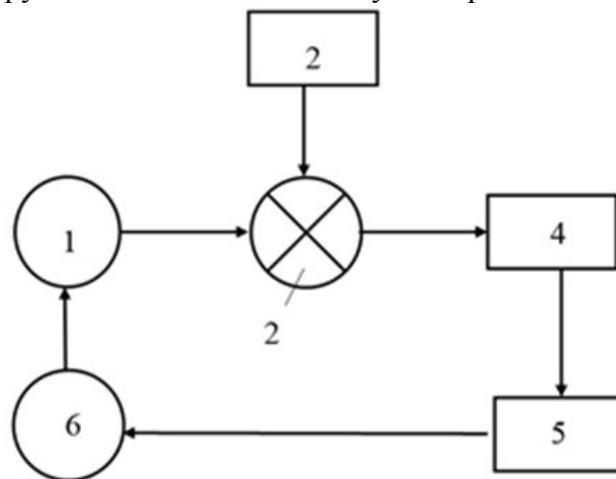


Рис. 2. Структурная схема адаптивной системы управления

Список литературы: 1. В.Н. Подураев. Технология физико-химических методов обработки. - М.: Машиностроение, 1985. - 264 с. 2. Стариков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством. - М.: Машиностроение, 1989. - 296с.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА РФ-202М С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Мамолат А.Г., Сулейманов С.Л. (кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: рассмотрена возможность совершенствование промышленного робота РФ-202М с использованием современных технических и программных средств позволяющих создания программ дискретного управления.

Ключевые слова: робот, РФ-202М, arduino, пневмоклапан, микропроцессор, управление, программа, реле, подвижность, манипулятор, кинематическая схема

Универсальный робот является неотъемлемой частью большинства промышленных линий. Использование роботов позволяет изготовить изделия, требующие получить точность и скорость. Достижение хороших результатов работы автоматизированных линий состоящих, из устаревших образцов оборудования крайне затратное и трудоемкое. Более того, системы управления подобным оборудованием в современных реалиях морально устарели и затрудняют дальнейшее повышение производства. Данная проблема может быть легко решена полной заменой оборудования на новые образцы либо, совершенствования старого. Последнее является более приоритетным, так как требует значительно меньше ресурсов на покупку и переобучение персонала. На базе учебного стенда РФ-202М выполнена замена системы управления на микроконтроллер ATMEGA2560, предварительно смонтированный на плате ARDUINO MEGA 2560. В процессе замены системы управления нужно обеспечить его первоначальные технические характеристики.

Универсальный робот РФ-202М предназначен для автоматизации металло-режущих станков, конвейерных линий и т.д.. При этом робот осуществляет захват, перенос и установку заготовки на станок, а после обработки снятие готовой детали. Для этого рука робота оснащена клещевым захватом.

Таблица 1 - Техническая характеристика робота РФ-202М [1]

Грузоподъёмность на одну руку	10Н
Тип привода	пневматический
Число степеней подвижности	5
Точность позиционирования	+ 0,5мм
Рабочее давление воздуха	0,4÷0,6 мПа
Выдвижение руки	200мм
Подъём колонны	20мм
Поворот колонны	90°; 180°
Вращение руки вокруг оси	180°

Робот РФ-202М состоит из двух частей: системы управления и манипулятора.

Манипулятор робота представляет собой механическую систему, осуществляющую манипуляции с предметами, один из элементов которой напоминает руку человека.

На рисунке 1 показана структурно – кинематическая схема манипулятора робота РФ-202М. Она даёт наглядное представление о кинематических возможностях робота. Робот РФ-202М имеет 5 степеней подвижности, т.е. может совершать 5 различных независимых движений. Робот РФ-202М двурукий. Руки робота с помощью

кронштейнов закреплены на колонне, опирающейся на основание робота. Основание робота закрыто кожухом, под которым размещены два пневмоцилиндра, поворачивающие колонну робота по часовой стрелке и против. Электродвигатели управляют подачей сжатого воздуха во все пневмоцилиндры.

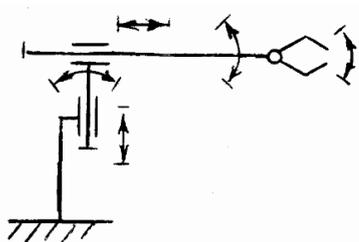


Рис. 1. Структурно – кинематическая схема робота РФ-202М

Робот состоит из автоматического манипулятора 1, системы управления 2, устройства подготовки воздуха 3, выполненных в виде самостоятельных конструкций (Рис 2). Воздух под давлением 0,4 МПа поступает в устройство подготовки воздуха, затем через рукав 4 в автоматический манипулятор. Управление манипулятором осуществляется блоком системы управления 2, который запитывается от цеховой сети через шину питания 5.

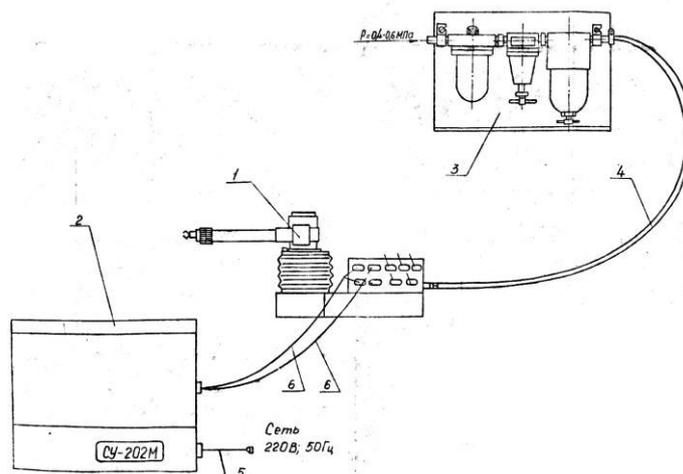


Рис. 2 - Общий вид робота РФ -202М1:

1 - манипулятор автоматический; 2 - устройство управления; 3 - устройство подготовки воздуха; 4 - рукав подачи воздуха; 5 - шина питания; 6 - шина управления

Система управления и её совершенствование

Изначальная система управления представляет собой монолитный блок с пультом управления, закрепленного на корпусе. Система состоит из блока питания, блока хранения данных, блока коммутации и т.д. Такое решение позволяет повысить механическую надёжность, но ухудшает ремонтпригодность и не предусматривает какой-либо модернизации. Отсутствие возможности подключения в режиме мониторинга значительно снижает возможности применения.

Для работы в современных автоматических линиях система управления должна иметь возможность управляться удалённо и согласовывать свои действия с остальным оборудованием для обеспечения самостоятельной работы, без участия оператора по заранее заданной программе.

Все движения робота осуществляет за счёт энергии сжатого воздуха от пневматических исполнительных механизмов. Выдвижение рук, подъём колонны, поворот колонны, закрытие захватов осуществляется от пневмоцилиндров с прямолинейным движением поршня, а вращение рук от пневмодвигателей, вал которых совершает неполно оборотные вращательные движения

На рисунке 3 показана пневматическая схема привода робота. Сжатый воздух через входной штуцер 1, запорный вентиль 2, влагоотделитель 3, регулятор давления 4, маслораспылитель 6 по воздухопроводам (трубкам) поступает к распределительным устройствам 7. Все эти элементы объединены в один блок подготовки сжатого воздуха. Распределители направляют сжатый воздух в пневмоцилиндры [4].

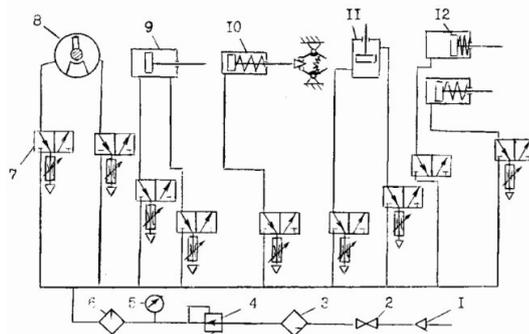


Рис. 3. Схема пневмопривода робота РФ-202М

Для коммутации сжатого воздуха система управления использует электрические пневматические клапаны, управляемые напряжением +24 В. ARDUINO MEGA 2560 необходимо напряжением +5 В. Для согласования работы электроклапана необходим блок реле (рис. 4) [2].

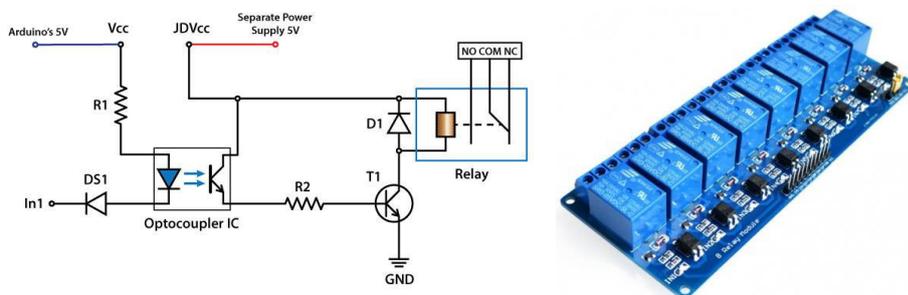


Рис. 4 – Электронная схема и общий вид блока реле.

Блок реле представляет собой плату на которой смонтировано 8 реле с опторазвязкой по управлению, каждое реле управляется напряжением в +5 В и способно коммутировать напряжение до 230 В с пиковой силой тока до 10 А.

ARDUINO MEGA 2560 коммутируется с ПК по протоколам I2C, SPI и URAT.

Модернизированная система управления подключается ПК по COM порту в операционных системах Windows, OSX, Linux и т.д.

Для программирования микроконтроллера ATmega2560 требуется специальное программное компании разработчика. При использовании платы MEGA 2560 используется интегрированная среда разработчика ARDUINO IDE, основанная на языке программирования C и C++ с использованием специальных правил структурирования кода.

Все написанные программы (прошивки) именуются в среде Arduino как «скетч» и хранятся в файлах с расширением .ino.
По завершению разработки программного обеспечения она записывается в энергозависимой памяти. После окончательной настройки микроконтроллера, через USB порт, подключается плата с последующей компиляцией кода и его загрузкой в память по протоколу URAT [3].

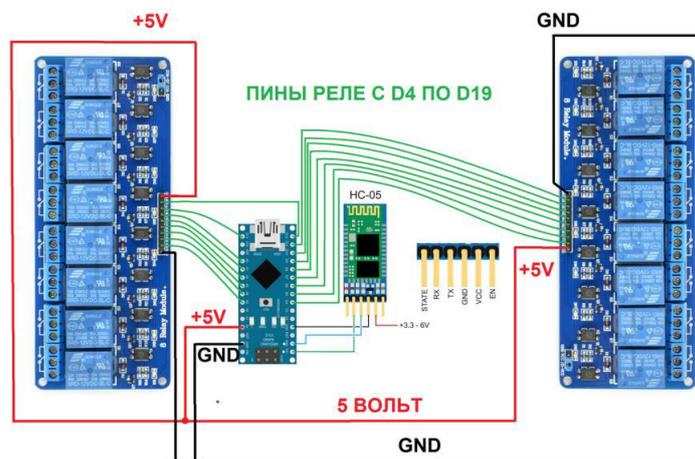


Рис. 5 Схема управления реле с 16 каналами, подключённых к электромагнитным клапанам, с возможностью управления Bluetooth HC-05.



Рис. 6 Совершенствованный стенд на базе промышленного робота РФ-202М

Подобная система управления легко модернизируется как преогромно, так и аппаратно, что многократно повышает её универсальность и гибкость. Использование низковольтного микроконтроллера позволила значительно уменьшить энергопотребление и увеличить безопасность системы для человека, а модульная система значительно увеличила ремонтпригодность системы и сократила время на поиск и устранение проблем.

Список литературы: 1. Робот промышленный РФ – 202М, Техническая документация 2. Гейтс Эрл Д. Введение в электронику— Ростов-на-Дону: Феникс, 1998. — 640 с. — ISBN 5-222-00417-1. 3. Булгаков А.Г., Воробьев В.А., «Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление», 2007 г. — 489 с. — ISBN978-5-91359-013-8 4. Федорца В. А. Гидроприводы и гидр пневмоавтоматика станков—Вища шк. Головное изд-во, 1987.— 375 с.

**АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО
АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Степочкина А. В. (кафедра ТМ, ГОУВПО ДонНТУ, г. Донецк)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

***Аннотация.** Описана модель автоматизации технологической подготовки. На основе описанной модели производится определение оптимального варианта процесса конструкторско-технологической подготовки. Система автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) основывается на системе автоматизированного проектирования (САПР), которая включает: систему управления проектом, взаимосвязанные объекты проекта и возможность использования этих объектов для изготовления изделия. Необходимо, чтобы система автоматизации КТПП была интегрированной.*

***Ключевые слова:** компьютерные технологии, автоматизация, станок с ЧПУ.*

Машиностроение – это основа научно-технического прогресса во многих отраслях народного хозяйства. Развитие и усовершенствование данной отрасли связано с прогрессом станкостроения, так как металлорежущие станки совместно с другими видами технологических машин обеспечивают изготовление и внедрение новых видов оборудования. Металлорежущие станки являются основным видом технологического оборудования машиностроения, с их помощью осуществляется обработка деталей необходимого качества. Они предназначены для выполнения служебных функций машин на высоком уровне. Современный металлорежущий станок - это технологическая и в то же время вычислительная машина, которая предназначена не только для обработки деталей, но и для управления процессом. Обработывающие центры, так же как и станки с ЧПУ составляют основу современных высокоорганизованных производств. Данный комплекс приемов, средств, методов и способов человеческой деятельности направлен на изготовление конкурентоспособной продукции машиностроительной отрасли и содержит: применение современных методов математического и компьютерного моделирования; использование средств компьютерных технологий для автоматизированного проектирования металлорежущих станков и систем и конструкторско-технологической подготовки производства; создание управляющих и других технологически ориентированных систем; сервис и техническую эксплуатацию технологического оборудования; проведение исследований в области станкостроения. В машиностроении ежедневно происходит потребность в создании новых моделей станков, гибких производственных систем, станочных модулей, для этого при помощи информационных технологий будущие специалисты станкостроения должны владеть базовыми навыками конструирования станков и их узлов.

Создание сложных изделий – это длительный процесс проектирования, состоящий из нескольких последовательных операций, которые в последствие приводят к окончательному варианту. В данном процессе участвуют огромное количество специалистов (руководители, идеологи, конструкторы, расчетчики, технологи и т. д.). Задача которых, состоит в том, чтобы сократить сроки и затраты при проектировании и технологической подготовке производства и повысить качество изделий используя компьютерные технологии. На стадии проектирования важно

отказаться от части натуральных испытаний и макетирования, а также максимально сократить число операций и вызванных ими переделок конструкции.

При технологической подготовке компьютерная технология должна обеспечивать максимальное сокращение затрат и сроков при помощи создания оснащения, не дожидаясь полного окончания процесса проектирования, за счет ручной доводки и исключения промежуточных носителей геометрии, а также обеспечения взаимозаменяемости и повышения точности изделия. Только когда система обеспечивает взаимодействие всех участников в едином информационном пространстве и предоставляет возможность работать в совершенно новом режиме компьютерной технологии, можно достичь положительных результатов.

Моделирование является одним из основных методов познания, который заключается в выяснении или воспроизведении тех или иных свойств реальных предметов, объектов и явлений с помощью иных объектов, явлений, процессов, а также с помощью абстрактного описания в виде плана, изображения, карты, совокупности уравнений, алгоритмов и программ [8]. Возможности моделирования представляют собой процесс переноса результатов, полученных в ходе построения исследования модели, на оригинал. Необходимо отметить, что принято различать несколько видов моделирования в отдельности для естественных и технических наук. К данным видам относятся:

- структурно-функциональное моделирование, при котором моделями являются блок-схемы, диаграммы, чертежи, графики, таблицы, рисунки, которые дополнены специальными правилами их объединения и преобразования;

- концептуальное моделирование (совокупность уже известных фактов относительно исследуемого объекта или системы, которые воспринимаются с помощью некоторых специальных символов, знаков, операций над ними);

- компьютерное моделирование, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта, алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для персонального компьютера;

- физическое моделирование, при этом модель и моделируемый объект, реальные объекты или процессы единой или различной физической природы, имеют некоторые соотношения подобия, вытекающие из схожести физических явлений;

- логико-математическое моделирование, включает в себя построение модели, которое осуществляется математическими и логическими средствами [7].

В данный момент времени широкое развитие получило компьютерное структурно-функциональное моделирование, а также прогрессирует с каждым днем привлечения компьютера в концептуальное моделирование, где он используется, например, при построении систем искусственного интеллекта.

Таким образом, можно отметить, что компьютерное моделирование, является методом решения задачи сложной системы на основе использования ее компьютерной модели [1]. Данное моделирование необходимо для получения качественных и количественных результатов на основании имеющейся модели. Количественные выводы в основном носят характер прогноза будущих и объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему. Качественные выводы, полученные в ходе исследований, позволяют выявить неизвестные ранее структуру сложной системы: ее свойства, устойчивость, динамику развития, целостность и др. Компьютерное моделирование технологического процесса за счет выявления и устранения возможных ошибок на этапах конструирования, подготовки производства и изготовления изделия во многом ускоряет процесс изготовления деталей.

Исходя из исследований, необходимо отметить, что ранее перечисленные виды моделирования могут применяться одновременно при исследовании сложных объектов, либо в определенной последовательности и не являются взаимоисключающими. Традиционно под моделированием на ЭВМ понималось лишь имитационное моделирование, но и при других видах моделирования использование компьютера будет весьма полезно.

Для решения задач автоматизации проектирования осуществляется выбор базовых систем, которые можно разделить на системы класса CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) и класса CAE (Computer Aided Engineering), а для комплексной автоматизации управления системы класса PDM (Product Data Management) [3]. Также необходимо отметить, что в настоящее время в конструкторскую документацию могут включаться компьютерные модели деталей и сборочных единиц изделия. Несмотря на столь высокий уровень автоматизации указанных систем, автоматизация технологической подготовки производства, а именно сборочных процессов значительно отстает.



Рис. 1. Роль компьютерной модели изделия

Для выполнения необходимых функций повышения автоматизации технологической подготовки основной и достаточно сложной задачей является правильный выбор базовых систем. Здесь, чтобы достичь положительного результата следует опираться как на самостоятельные проработки, так и опыт других предприятий, не исключая различные аналитические данные. Несмотря на имеющуюся аналитическую информацию, процесс выбора конкретных базовых систем требует проведения дополнительного комплекса работ, в котором участвуют ведущие специалисты разного профиля. При данных нововведениях приобретение систем соответственно влечет за собой изменения в организационных структурах предприятия. Автоматизация производства часто приводит к замене человека автоматическим устройством, при этом новые возможности автоматизации ограничиваются низким потенциалом приспособленной к человеку технологии – малыми рабочими скоростями, неточной информацией о процессе, невозможностью одновременного выполнения нескольких операций, зависимостью качества продукции от квалификации рабочих.

Время рабочего цикла увеличивается при помощи замены рабочего роботом для загрузки станка без изменения технологии, тем самым происходит небольшая экономия заработной платы. Экономия заработной платы при автоматизации производства составляет 10 - 15% экономического эффекта, за счет улучшения качества продукции - 15-20% и 60-70% эффекта формируется за счет повышения производительности производства [5]. Скорость и качество операций повышается при применении робототехники в процессах сварки, окраски или гальванической обработки.

Грамотная стратегия автоматизации приводит не только к высвобождению работника с данного предприятия, но и к созданию высокоэффективных технологий с автоматически работающим устройством, которые невозможно применять без автоматизации. Если сравнить с ручным производством, то при отказе одного автоматизированного звена происходит остановка всей технологической цепи. Средства автоматизации необходимо применять там, где невозможно обойтись без их внедрения в производство. Внедрение непроверенных технических решений и ненадежных устройств автоматики дискредитирует идеи автоматизации.

В ходе обобщения результатов опытными специалистами были сделаны выводы, что главной целью автоматизации является повышение эффективности производства, а ни в коем случае не замена ручного труда.

Особое значение приобретает системность подхода к компьютерной автоматизации производства. При несистемном подходе сначала разрабатывают элементы, из которых komponуют систему в целом. Не соблюдая системный подход в процессе компоновки можно заметить, что элементы приходится заменять на более подходящие, так как некоторые компоненты не согласуются друг с другом или не отвечают требованиям к системе. После разработки элементов их объединяют в реальную систему.

В практике автоматизации отечественных предприятий выбирают одну из стратегий, перечисленных в порядке снижения расходов: - поставка зарубежной фирмой типовой системы автоматизации с выполнением ее монтажа и наладки местной специализированной организацией; - поставка и монтаж зарубежной фирмой-поставщиком системы автоматизации "под ключ" (Siemens); - привлечение зарубежной фирмы-проектанта для разработки и внедрения системы автоматизации на предприятии; - разработка и внедрение системы автоматизации на базе зарубежных устройств (Schneider-Electric) силами отечественной фирмы системный интегратор [2]. Варианты стратегии выбирают на основании необходимых операций, например, на

линии розлива или упаковки продукции, не могут выполняться без автоматизации. При введении автоматизированной линии в эксплуатацию возникает необходимость изменения алгоритмов управления, поддержки работоспособности оборудования, быстрого устранения отказов. Если рассмотреть вызов представителей фирмы-разработчика, то данный метод приводит к значительным потерям времени и денег. Опыт показывает, что в большинстве случаев выгодным является последний вариант, который позволяет учесть особенности объекта автоматизации и сократить эксплуатационные расходы.

Системной интеграцией считается подбор технических средств и разработки проекта системы автоматизации и процесс выработки концепции автоматизации предприятия. Сначала системы компьютерной автоматизации строили на базе отечественных датчиков, исполнительных устройств и программируемых контроллеров типа "Ломиконт", МКП, "Ремиконт", "Униконт", ФК5501 [4]. Это позволило преодолеть предубеждение заказчиков перед микропроцессорной техникой и снизить затраты на автоматизацию. Однако низкая надежность отечественных устройств автоматики приводила к росту потерь от простоев оборудования. Особенно часто отказывали периферийные устройства: регуляторы скорости электродвигателей, электропневматические клапаны, датчики, гидро- и пневмоцилиндры. Ограниченные функциональные возможности отечественной техники автоматизации не позволяли доводить систему до периода эффективной эксплуатации. В связи с этим в системах автоматизации стали применять зарубежные устройства автоматизации и программное обеспечение, которые дополняли друг с друга и соответствовали международным стандартам промышленных шин. Такие системы месяцами не требовали ремонта и легко модернизировались на предприятии.

Автоматизация является ведущим направлением для развития современного промышленного производства. Благодаря этому происходит улучшение условий труда человека, что подразумевает лишение его личного участия в основных операциях и производственных процессах с высокой концентрацией. Это значительно улучшает экономические показатели современного производства и условия труда. Делая выводы, можно отметить, что сегодняшнее производство базируется на создании сверхсложных изделий, которое требует создания и совершенствования новых конструкторских и проектных работ. Поэтому, использование современных компьютерных технологий для автоматизации производственных процессов позволяет повысить производительность работы и существенно сокращает сроки изготовления изделий на производстве. Для оптимальной организации производственных процессов в условиях использования компьютерных технологий является необходимым правильный выбор. Это обусловлено специфической работой предприятий различных типов экономической деятельности, их форм собственности, разнообразием поставленных задач экономического анализа, решение которых состоит в эффективном управлении предприятием в рыночных условиях, которые, характеризуются быстрой сменой факторов внешней среды, неопределенностью и риском.

Проблемой автоматизации производственных процессов заинтересованы даже молодежь. Так, в 2014 году на Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов были рассмотрены проблемы и перспективы автоматизации и компьютерно-интегрированные технологии на производстве [6]. На необходимость использования современных технологий для автоматизации производства указывают ученые на межотраслевой конференции «Автоматизация предприятия-2015», где были представлены современные разработки для

автоматизации производственных процессов, автоматизированные комплексы контроля, информационно-управляющие системы АСУТП, MES, ERP, учета и мониторинга технологических процессов, газоанализаторы, спектрометры, реле, расходомеры, датчики и другие контрольно-измерительные приборы, информационные технологии и решения для повышения безопасности, экономичности и эффективности управления предприятиями металлургии, машиностроения, энергетики, нефтегазовой, химической и других отраслей промышленности.

Выводы. Современное производство – это сложная, многогранная, многофункциональная система, которая находится в процессе совершенствования и адаптации к внешним факторам. Каждое направление данной системы работает должным образом с другими в комплексе. Поэтому, каждый комплекс по данным направлениям нужно улучшать и совершенствовать. Производство необходимо постоянно обновлять техникой и современными компьютерными и информационными технологиями и приспосабливаться к ним, благодаря чему будет увеличиваться эффективность работы на предприятии, и улучшаться условия труда рабочих.

Список литературы: 1. Авилов, А. Применение компьютерных систем для автоматизации и разработки новых технологий в машиностроительном производстве [Электронный ресурс] /URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/3/77.pdf>. 2. Ладанюк, А. Управление технологическими комплексами в компьютерно-интегрированных системах [Текст] / А. Ладанюк, В. Трегуб, В. Кишенько // Проблема управления информатики. — 2000. — № 2. — С. 72–79. 3. Россоловский, А. AutoCAD: Настольная книга пользователя: учебное пособие / А. Россоловский. — М.: Нолидж, 2000 — 928 с. 4. Жимерин Д. Г., Мясников В. А., Автоматизированные и автоматические системы управления, М., 1975 – 680 с. 5. Капустин Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для вузов / Под ред. Н. М. Капустина. — М.: Высшая школа, 2004. — 415 с. 6. Юревич Е. И. Основы робототехники. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005 — 416 с. 7. Воройский Ф. С. Информатика. Энциклопедический систематизированный словарь-справочник (Введение в современные информационные и телекоммуникационные технологии в терминах и фактах). — М.: Физматлит, 2007 — 760 с. 8. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем. М., Наука, 1977 — 560 с.

МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАНКА ЧПУ НА БАЗЕ
ТОКАРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ ТВ16

Прилуцкий М.И., Цокур В.П., Ошовская Е.В. .
(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. Выполнена замена ручных перемещений продольных и поперечных подач на автоматические с помощью шаговых двигателей и этим обеспечили управляемость станка с помощью компьютера.

Ключевые слова: станок, суппорт, шаговый двигатель, винт, гайка, ремень, драйвер, arduino, управление

Развитие малого бизнеса является толчком для проявления творческих способностей человека, возможность реализовать себя в различных сферах деятельности, а наличие интернета позволяет похвастаться достигнутыми результатами своего труда. В машиностроении много отраслей промышленности, где можно реализовать свой творческий потенциал, создавая изделия по новым технологиям даже у себя дома. К таким работам относится улучшение конструкции [1] и управления [2] токарного станка ТВ 16. Особый интерес представляют работы [3], в которых реализовано управление процессом срезания стружки с помощью программ, установленных на компьютере.

Конструкция токарного станка представлена на рисунке 1.

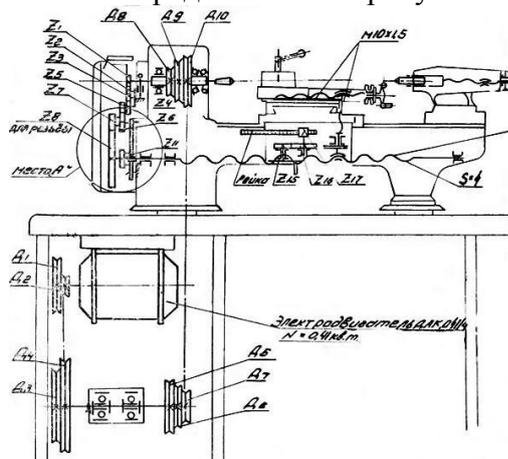


Рис. 1. Кинематическая схема токарного станка модели ТВ16

Получить детали с высоким классом точности на оборудовании не удастся даже при участии высококвалифицированного специалиста.

Базовые операции, на которые способен токарный станок ТВ-16 – это точение, растачивание, нарезка резьбы и сверление различных отверстий.

В базовой конструкции станка ТВ16 имеются следующие недостатки

- нет коробки скоростей, а переключение производится за счет ручной смены расположения ремня;
- нет коробки скорости, а контроль скорости или шага резьбы осуществляется за счет смены шестеренок;
- нет ходового вала, а подачу суппорта осуществляется исключительно за счет ходового винта.

На кафедре МСМО ДОННТУ выполнили эту задачу следующим образом. Изготовили специальный кронштейн для крепления шагового двигателя и соединили винт продольной подачи упругой муфтой с валом шагового двигателя. Аналогично поступили и винтом поперечной подачи. Привод вращения шпинделя оставили без изменений. Для управления процессом резания установили блок питания, драйверы и плату АРДУИНО, отрегулировав напряжение 2,6 В для надежной работы шаговых двигателей.

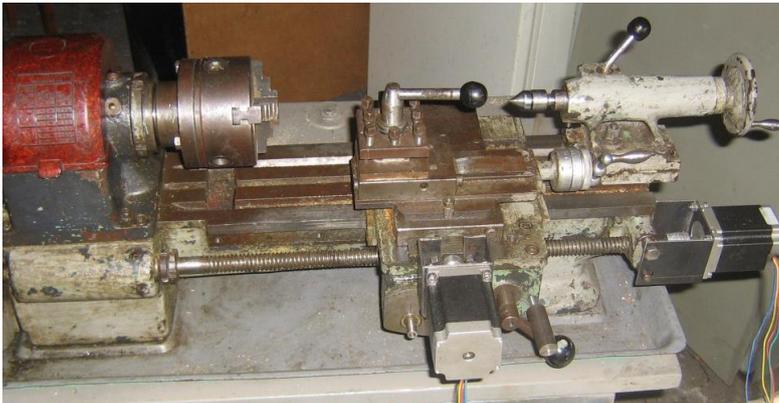


Рис. 2 Общий вид моделирования станка ТВ16

Используемая микросхема драйвера представляет собой эффективный драйвер-контроллер шагового двигателя средней мощности на микросхеме TV6600. Пригоден для построения профессиональных и любительских систем ЧПУ на шаговых биполярных двигателях.

Имеет возможность деления на микрошаги до 1/16 шага. Максимальный ток до 4.5А. Напряжение питания двигателя 10-42 В.

Пример подключения шагового двигателя к arduino через драйвер-контролёр для осуществления перемещения суппорта приведён на рисунке 3 [4].

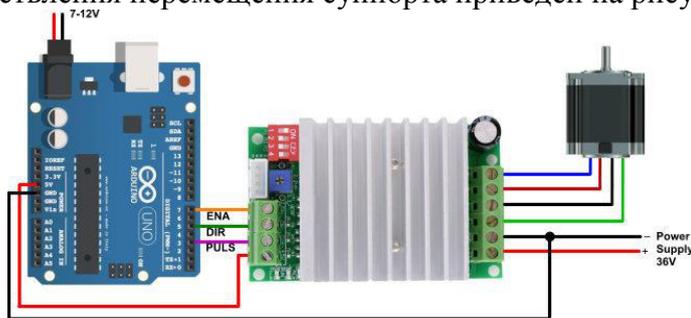


Рис. 3 Электротехническая схема подключения шагового двигателя

Аналогично подключен двигатель и для поперечной подачи.

Для работы станка использована специализированная программа, используемая на базе микроконтроллера ARDUINO MEGA 2560.

Список литературы: **1.** http://stanki-katalog.ru/sprav_tv16.htm. **2.** <https://www.cnc-club.ru/forum/viewtopic.php?f=148&t=21070>. **3.** <http://directlot.ru/lot.php?id=180315>. **4.** <https://cnc-tehnologi.ru/stati/36-podbor-i-raschet-shagovykh-dvigatелеj-dlya-chpu>

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯРАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКА БУКСЫ ВАГОНА
ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОГО ВЫКРАШИВАНИЯ

Невмержицкая Г.В., Шлюшенков А.П. (БГТУ, г. Брянск, Россия)
Тел./Факс: 89605649682; E-mail: galka_nevm@mail.ru

Abstract: The algorithm for calculating the reliability of the car axle box bearing according to the fatigue spalling criterion in the form of a computational experiment is considered. The influence of load distribution factor over rolling bodies on bearing reliability has been investigated.

Key words: reliability of car axle box bearing, load distribution over axle box bearing rolling bodies, particulate and mixed loading blocks of bearing roller.

Проведенные ранее численным методом исследования прочности и жесткости буксы вагона разного конструктивного исполнения [1,2] выявили различные законы распределения нагрузки по телам качения буксового подшипника (как по углу охвата нагруженных тел качения, так и по своему характеру).

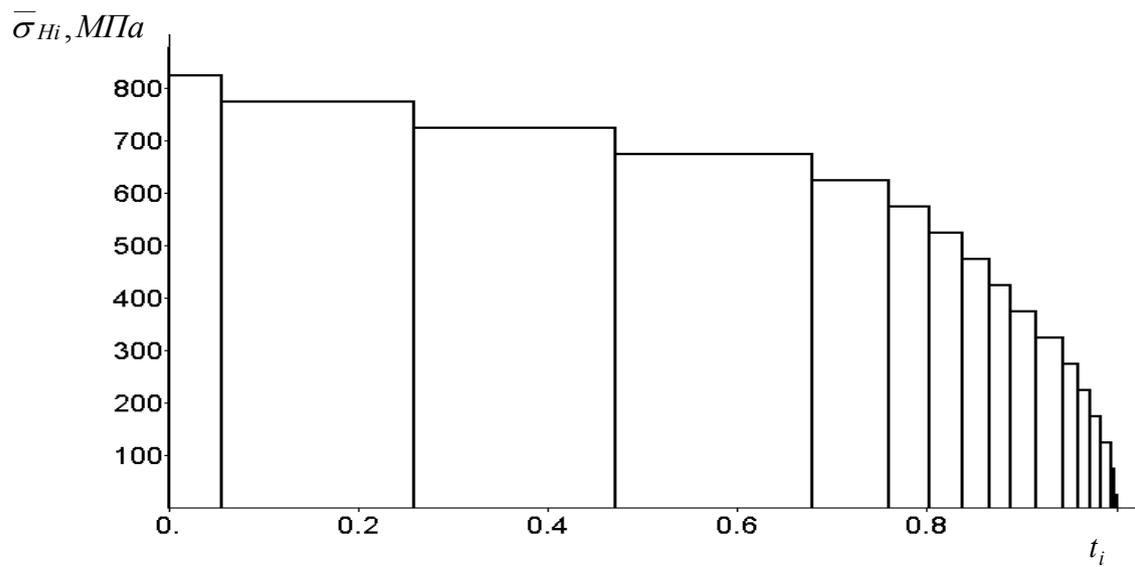
В данной работе сделана попытка оценить влияние данного фактора на надежность подшипника по одному из вероятных видов отказа – усталостному выкрашиванию. При этом условия эксплуатации (статическая нагрузка на ось, распределение скоростей движения вагона и др.) для рассматриваемых вариантов букс условно принимались одинаковыми.

Реальный процесс нерегулярной нагруженности элементов подшипника (колец и тел качения) в местах их контактирования рассматривался как поток единичных воздействий в виде от нулевых циклов контактных напряжений различной интенсивности, зависящих от внешних сил, действующих на буксу в процессе движения вагона, кинематики подшипника, а также исследуемого в данной работе фактора – характера распределения нагрузки по телам качения.

Для оценки нагруженности элементов подшипника моделировали во времени нагрузку на буксу. Затем, используя распределение нагрузки по телам качения и кинематику подшипника [3], получали реализации потоков контактных воздействий на тела качения и кольца и соответствующих максимальных контактных напряжений для частных по скорости движения вагона режимов эксплуатации. Для сравнительного анализа статическая нагрузка на буксу считалась постоянной, а распределение скоростей движения принималось по нормам расчета вагонов на прочность для пассажирских вагонов с конструктивной скоростью 160 км/ч. Оценку контактных напряжений производили без учета возможной концентрации нагрузки в пределах контакта.

По результатам статистической обработки реализаций потока контактных напряжений строили частные ступенчатые блоки нагружения, на основе которых с учетом относительных долей времени движения вагона с различными скоростями получали смешанные блоки нагружения для колец и тел качения (роликов), а также оценивали число циклов нагружения за 1 км пробега $\nu_{\bar{\sigma}}$. Для примера на рис.1 приведены смешанные блоки нагружения роликов, где по вертикали отложены осреднённые на множестве букс максимальные в цикле контактные напряжения $\overline{\sigma_{Hi}}$, а по горизонтали - относительные числа повторений t_i контактных напряжений i -й ступени блока.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**



а)
б)

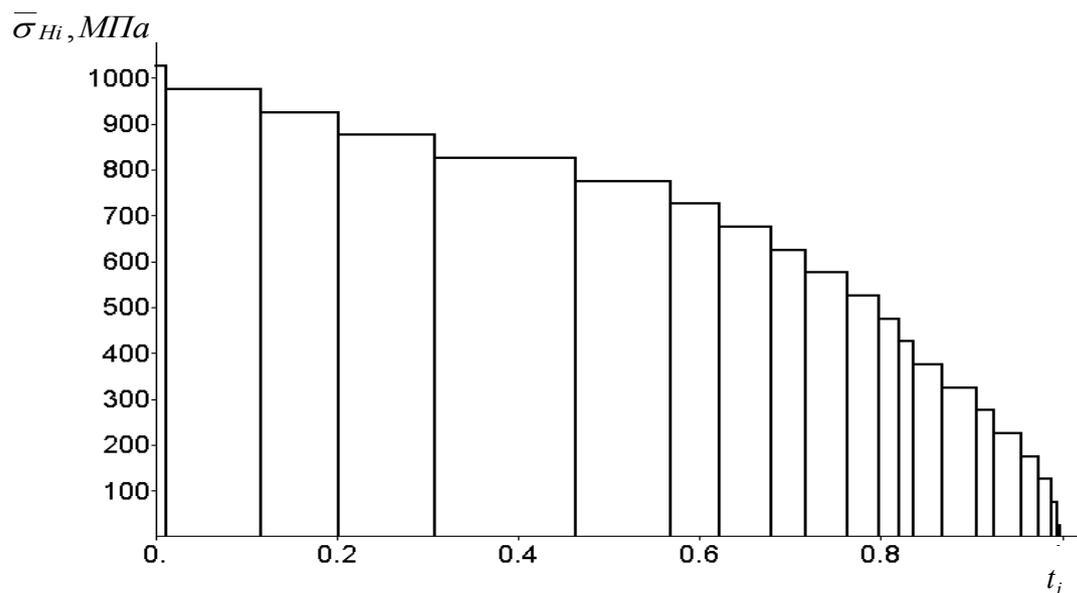


Рис.1. Смешанный блок нагружения ролика подшипника:
а – бруска грузового вагона; б – бруска пассажирского вагона

Расчет надежности подшипника по критерию усталостного выкрашивания выполняли в форме вычислительного эксперимента [4]. Для оценки наработки до отказа L использовали линейную модель накопления повреждений Пальмгрена-Майнера. Сопротивление выкрашиванию колец и тел качения описывали кривой контактной усталости в виде

$$N_H = \left(\frac{\sigma_{OH}}{\sigma_H} \right)^{m_H} N_{GH} \quad \text{при } \sigma_H \geq \sigma_{OH};$$

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

$$N = \infty \quad \text{при } \sigma_H < \sigma_{OH},$$

где N_H - число циклов нагружения до выкрашивания при максимальном контактном напряжении σ_H ; σ_{OH} - предел контактной выносливости; N_{GH} , m_H - соответственно абсцисса точки перелома и показатель наклона кривой контактной усталости в двойных логарифмических координатах.

Предел контактной выносливости σ_{OH} рассматривался как нормально распределенная случайная величина со средним значением $\bar{\sigma}_{OH} = 1445 \text{ МПа}$ (определяли по данным работы [5] через твердость материала и принимали одинаковым для колец и роликов) и коэффициентом вариации $V_{\sigma_{OH}} = 0.1$.

Вариацией параметров кривой усталости N_{GH} и m_H пренебрегали и принимали их значения по тем же данным равными $12 \cdot 10^7$ и 6 соответственно.

Контактные напряжения σ_{Hi} ступеней смешанного блока нагружения на множестве букс рассматривали как нормально распределенные случайные величины. При этом полагали, что преобразование блока нагружения от буксы к буксе происходит подобно с сохранением значений относительных параметров блока $\sigma_{Hi} / \sigma_{H \max}$ и t_i ($\sigma_{H \max}$ - максимальное в блоке нагружения контактное напряжение), так что $\sigma_{Hi} = \bar{\sigma}_{Hi} \varepsilon$, где ε - нормально распределенная случайная величина со средним значением $\bar{\varepsilon} = 1$ и коэффициентом вариации $V_{\varepsilon} = V_{\sigma_{Hi}}$ (по данным [4] принимали $V_{\varepsilon} = 0,2$).

В каждом j -м вычислительном опыте по правилам метода Монте-Карло сначала моделировали случайное значение ε_j и формировали смешанные блоки нагружения элементов подшипника j -й буксы. Затем для всех роликов и колец моделировали случайные значения предела выносливости σ_{OHqj} (q - условный номер элемента подшипника, $q = \overline{1, k}$, где k -общее число элементов). Далее для каждого q -го элемента вычисляли наработку в км пробега по формуле [4]

$$L_{qj} = \frac{\sigma_{OHqj}^{m_H} N_{GH}}{v_{\sigma} \sum_{i=1}^r (\bar{\sigma}_{Hi} \varepsilon_j)^{m_H} t_{iq}}.$$

Суммирование в знаменателе формулы осуществляли по напряжениям $\bar{\sigma}_{Hi} = \bar{\sigma}_{Hi} \varepsilon_j \geq \sigma_{OHqj}$. Если максимальное напряжение в блоке нагружения $\sigma_{H \max qj} = \bar{\sigma}_{H \max q} \varepsilon_j < \sigma_{OHqj}$, то полагали, что выкрашивание данного q -го элемента не произойдет при сколь угодно большом пробеге вагона.

При оценке надежности подшипника считали, что выкрашивание одного его элемента приводит к отказу подшипника в целом. В качестве наработки до отказа подшипника j -й буксы принимали минимальное из полученных k значений наработок $L_j = \min L_{qj}$. Если выкрашивание не происходит ни в одном элементе, то

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

соответственно не происходит отказа подшипника в целом и наработка до отказа $L_j = \infty$.

Повторяя вычислительные опыты M раз ($M=1000$), получали выборку наработок до отказа, по которой рассчитывали показатель безотказности подшипника - вероятность безотказной работы $P(L)$ для заданной наработки L , по формуле

$$D(L) = 1 - Q \cdot F(L),$$

где $Q = \frac{m}{M}$ - относительная доля отказавших подшипников; m - число вычислительных опытов с конечной наработкой до отказа; $F(L)$ - функция распределения наработки до отказа.

Для описания $F(L)$ использовали закон распределения Вейбулла в виде

$$F(L) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{L}{b} \right)^c \right],$$

параметры которого b и c определяли из решения системы уравнений метода максимального правдоподобия

$$b = \left(\frac{\sum_{j=1}^m L_j^c}{m} \right)^{\frac{1}{c}},$$

$$c = \left[\frac{\sum_{j=1}^m (L_j^c \ln L_j)}{\sum_{j=1}^m L_j^c} - \frac{\sum_{j=1}^m \ln L_j}{m} \right]^{-1}.$$

В результате вычислений были получены следующие значения:

- для буксы пассажирского вагона $Q=0,182$, $b=2,04 \cdot 10^6$, $c=0,083$,
- для буксы грузового вагона $Q=0,054$, $b=1,46 \cdot 10^8$, $c=0,055$.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

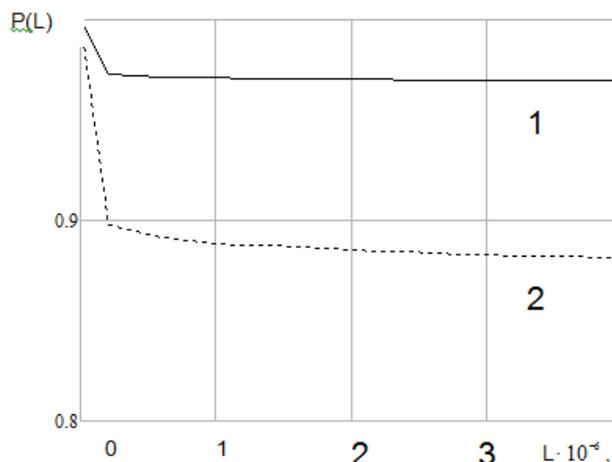


Рис.2. Вероятность безотказной работы подшипников букс в одинаковых условиях эксплуатации: 1 – букса грузового вагона; 2 – букса пассажирского вагона

На рис.2 приведены графики функции вероятности безотказной работы подшипников для сравниваемых вариантов букс.

Видно, что фактор распределения нагрузки по телам качения оказывает существенное влияние на безотказность подшипника. Так, при наработке $4 \cdot 10^6$ км пробега вероятность безотказной работы для сравниваемых вариантов составила 0.976 и 0.875, вероятность отказа соответственно 0,024 и 0,125. Таким образом, более благоприятное распределение нагрузки по телам качения снизило в данном случае вероятность отказа в 5 раз.

В заключение отметим, что предельное состояние подшипника характеризуется выкрашиванием не одного, а чаще всего нескольких элементов. Если принять процессы выкрашивания элементов независимыми, то по предложенному алгоритму можно оценить надежность подшипника по критерию выкрашивания заданного числа элементов. Нарботке до отказа L_j в данном случае будет соответствовать значение члена вариационного ряда наработок L_{qj} с порядковым номером, равным числу поврежденных элементов. При этом увеличатся значения параметров b и c распределения Вейбулла, а график функции вероятности безотказной работы сместится вправо в область большей надежности. Сравнительные оценки влияния фактора распределения нагрузки по телам качения существенно не изменятся.

Список литературы: 1. Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А., Сакало В.И. Исследование нагруженности деталей буксового подшипника. Вестник БГТУ, №4 - Брянск, 2004.-5 с. 2. Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А. Исследования нагруженности и долговечности деталей буксового подшипника грузового вагона //Сборник трудов XIII Междунар. научно-технич. конф. – Донецк: 2006, Том 3. – С. 101-105. 3. Невмержицкая Г.В. Учет кинематики буксового подшипника при расчете нагруженности точек его деталей// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. тр. – Донецк, 2000.-С.32-36. 4. Шлюшенок А.П. Нагруженность и расчеты деталей машин и элементов конструкций на прочность и долговечность. – Брянск: БИТМ, 1991.-156 с. 5. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с.

УДК 621.923.91

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПЛАНТОВ
ТАЗОБЕДРЕННЫХ СУСТАВОВ ЧЕЛОВЕКА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИХ
СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

¹ Турманидзе Р. С., д.т.н., проф., ¹ Попхадзе Г. З., докторант, ² Инашаридзе К. С.,
Ассистент проф. ¹Грузинский Технический Университет, Тбилиси, Грузия.

²Государственный университет имени Шота Руставели, Батуми, Грузия.

Тел: + (995) 577423709; E-mail: inform@gtu.ge

Abstract: *In view of the fact that the endoprosthesis heads of human hip-joint are operated in extreme conditions, in respect of load, the selection of corresponding material and also increase of precision and quality of machining of spherical surfaces is rather topical task.*

In the submitted work are reviewed the problems connected with definition of the influence degree of orientation of the sapphire crystal on its workability during diamond grinding with a butt of the ring and elaboration of the perspective, original scheme of formation of the incomplete spherical surface, particularly, of the sapphire head of endo-prosthesis of the human hip-joint.

Key words: *single crystal sapphire, anisotropy, grindability, endoprosthesis, precision grinding, forming, spherical surface.*

1. Введение

В последнее тридцатилетие одной из актуальных направлений в области обработки материалов резанием является получение имплантатов из разных материалов для тазобедренных суставов с высокими эксплуатационными свойствами, которые обеспечат их применение более 30-40 лет. Это обусловлено тем, что головки указанных эндо протезов, с точки зрения характера и величины нагрузки, эксплуатируются в экстремальных условиях. Поэтому в каждом конкретном случае подбор необходимого материала с соответствующими физико-механическими характеристиками, а также повышение точности и качества обработки самой значительной части эндо протеза – сферических поверхностей является весьма важной задачей, острота которой в последние годы интенсивно возрастает. Это вызвано тем, что если раньше необходимость подобных операций в основном была вызвана возрастным фактором человека или травматологическими переломами, то в последнее двадцатилетие резко увеличилось количество больных в молодом возрасте, даже в 30-40 лет, как мужчин, так и женщин, без всяких травм и переломов. По мнению медиков, основными причинами этого бедствия являются неактивный образ жизни молодежи, состав современных искусственных пищевых продуктов и нарушение обмена веществ, а также интенсивный рост разных переломов в результате транспортных и других аварий. Все вышеуказанные причины определяют количество используемых эндо протезов - несколько десятков миллионов штук в год и статистика показывает, что, к сожалению, это количество ежегодно увеличивается.

Медицинская практика доказывает, что повторное протезирование тазобедренного сустава человека связано с большими проблемами. Во многих случаях осуществление таких операций становится практически невозможным. Поэтому срок службы эндо протеза тазобедренного сустава до конца жизни для больного, особенно после операций в молодом возрасте, имеет исключительно важное значение.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Этим обстоятельством объясняется тот факт, что в таких ведущих странах мира как: США, Германия, Англия, Япония, Франция и др., ведутся широко масштабные научно-исследовательские работы по разработке оптимальных схем формообразования, характеристик абразивного инструмента для финишных операций и технологического процесса в целом, для изготовления сферических головок эндо протеза из разных материалов с минимальной погрешностью формы и с высокими показателями качества поверхности.

На сегодняшний день в мировой практике эти головки изготавливаются из различных сплавов, композиционных материалов и керамики, которые, в основном, являются изотропными материалами. Поэтому данные вышеупомянутых работ не дают необходимой информации по обработке анизотропных материалов, в частности, искусственного кристалла сапфира.

Кроме того износостойкость вышеупомянутых материалов в большинстве случаев не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. А проведенные нами сравнительные эксперименты доказывают, что наиболее биосовместимым с человеческим организмом, износостойким и долговечным материалом для изготовления вышеупомянутого изделия является искусственный монокристалл сапфира.

В связи с этим по линии Украинского научно-технологического центра был осуществлен международный проект, исполнителями которого являлись Грузинский технический университет (Тбилиси), Институт сверхтвердых материалов Национальной академии наук Украины (Киев) и Институт монокристаллов Национальной академии наук Украины (Харьков).

Участниками проекта были решены отдельные научные задачи, в частности: Грузинским техническим университетом исследовано влияние анизотропии кристалла сапфира на обрабатываемость и качество поверхности материала при шлифовании; разработаны перспективные, теоретические схемы формообразования неполной сферической поверхности с целью обеспечения повышения геометрической точности сферической части эндо протеза, что имеет принципиальное значение для повышения срока службы их эксплуатации за счет увеличения площади контактов между пар эндо протезов и соответственно уменьшения нагрузки на единицу площади их контактных поверхностей. Институтом сверхтвердых материалов была исследована связь коэффициента трения с кристаллографическими особенностями сапфира и режимами отжига; обрабатываемость материалов, обладающих анизотропией свойств, в частности сапфира, по традиционной технологии для оценки влияния анизотропии на точность формообразования сферической поверхности; разработаны рекомендации применительно к процессу алмазной доводки головок эндо протезов тазобедренного сустава из искусственного монокристалла сапфира. Харьковским институтом монокристаллов были исследованы оптимальные режимы выращивания, обеспечивающие максимальную очистку материала сапфира, в результате чего получен сапфир с кристаллографическом направлении имеющий минимальную анизотропию.

Целью представленной работы являются: определение степени влияния ориентации кристалла сапфира на его обрабатываемость шлифованием способом НПШ, созданным на кафедре «Технология машиностроения» Грузинского технического университета и разработка перспективной, оригинальной схемы формообразования неполной сферической поверхности, в частности, сапфировой головки, эндо протеза тазобедренного сустава человека. Подробное описание метода низкотемпературного процесса шлифования (НПШ), кинематическая схема

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

лабораторной установки и методика проведения экспериментов можно посмотреть в предыдущих публикациях [1,2,3,4].

Исследования влияния ориентации кристалла сапфира на обрабатываемость материала проводились на образцах сапфира с ориентацией (0001), (1010) и (1012). Размеры образцов: 10x10x6 мм и Ф 10x6 мм.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, оснащенной с специальной прецизионной головкой. Применялись алмазные круги зернистостью 14/10 и 28/20 на керамической, металлической и органической связках, формы 6A2.

Выходными параметрами процесса являлись: производительность обработки, линейный минутный съём материала – q , мкм/мин; высота неровностей шероховатости поверхности – R_z , мкм; относительная опорная длина профиля на уровне 03 – t_{p03} ,%; подрельефный нарушенный слой – H , мкм.

Факторы процесса скорость резания – V , м/с; давление в зоне резания P , кПа и характеристики алмазного инструмента: зернистость – d_3 , мкм; связка концентрации – K ,%.

Эксперименты проводились при следующих условиях: диапазон скорости резания – $V=1...12$ м/с; давление в зоне резания – $P=100...1500$ кПа. Охлаждающая жидкость – отфильтрованная проточная вода.

По анализу данных проведенных нами комплексных, всесторонних экспериментальных исследований можно сделать следующее заключение:

Характер влияния факторов процесса на выходные параметры для выбранных ориентаций кристалла сапфира ((0001), (1010), (1012)) - постоянный.

При прочих равных условиях обработки наиболее труднообрабатываемой является ориентация (0001). Для всех испытуемых алмазных кругов соотношение значений линейного съема материала – q находится в пределах

$$q_{0001} / q_{1010} = 0,25...0,5,$$

при этом,

$$q_{1012} / q_{1010} = 0,75 ... 1.$$

В исследуемых диапазонах режимов резания V и P производительность обработки растет при $V=...6$ м/с, а при $V > 6$ м/с – остается постоянной, также при $P = 100...1500$ кПа – растет, при $P > 1500$ кПа – остается практически постоянной.

Из характеристик алмазного инструмента на производительность превалирующим образом влияют зернистость и связка алмазного инструмента. Влияние концентрации незначительно. С увеличением размера зерна в пределах $d_3=14/10...28/20$, производительность растет в 1,5 ... 2.5 раза.

Максимальное значение производительности достигается инструментом на керамической связке – СК6 – 130 ...300 мкм/мин, для всех выбранных ориентаций кристалла сапфира. При этом увеличивается соотношение

$$q_{0001} / q_{1010} = 0,4 ... 0,5.$$

Инструмент на этой связке работает в режиме самозатачивания.

При прочих равных условиях обработки на ориентации (0001) достигается более высокое качество поверхности, чем на остальных двух. Разница в 1...1,5 классах шероховатости.

На качество поверхности превалирующим образом влияют зернистость и материал связки инструмента. С увеличением зерна, в исследуемом диапазоне, высота неровностей R_z растет в пределах 1...1.5 класса, а глубина нарушенного слоя H – в 1,5...2 раза.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

По качеству обработанной поверхности наилучшие результаты дают алмазные круги на органических связках ВС-11 и органическая специальная, которая разработана нами и находится в процессе патентования. По сравнению с алмазными кругами на металлической и керамической связках, параметр R_z на порядок ниже $\sim 0,25$ мкм, параметр t_{p03} в 1,5 выше $\sim 35...45\%$ и параметр H в 3...5 меньше $\sim 2...5$ мкм.

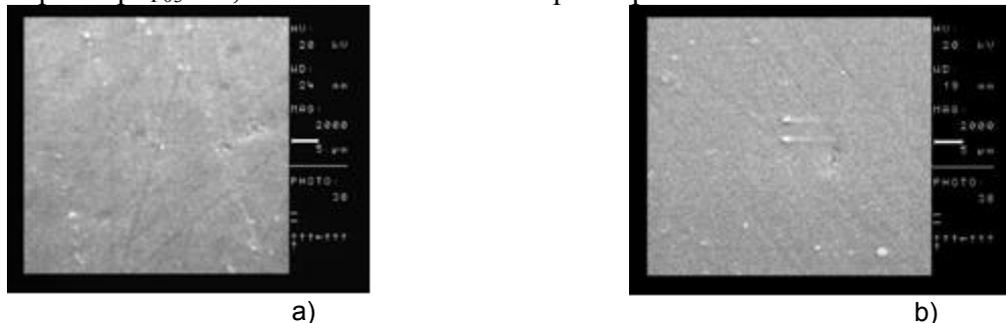


Рис. 1. Микрофотографии поверхностей экспериментальных образцов сапфира, обработанные способом НПШ: а- Ориентация 1010, б- 1012. Алмазный круг –АСМ 14/10, связка органическая спец., 50 %. Режимы резания: $V=1$ м/с, $P=750$ кПа.

Изучением морфологии обработанной поверхности доказана возможность резания материала сапфира пластическим деформированием снимаемого слоя на низких скоростях резания $V=1...3$ м/с, с наименьшей глубиной нарушенного подрельефного слоя (фиг.1).

Этот результат достоин особого внимания, так как обработка стеклообразных материалов, в частности, кристалла сапфира, путем пластического деформирования снимаемого слоя - залог получения обработанной поверхности практически без наследственных дефектов – без нарушенного подрельефного слоя. Величина H оказалась наименьшей именно на этих образцах сапфира.

Разработка нового, или усовершенствование существующего технологического процесса механической обработки сапфировой головки ставит актуальную задачу создания новых, высокоэффективных схем формообразования. Критерии оптимизации технологических операций, такие как производительность, показатели качества поверхности и точность обработки, определяют место новых схем-способов формообразования в технологическом процессе с учетом их преимуществ.

Применяемые на сегодняшний день способы абразивной обработки неполной сферической поверхности изделий широкого назначения, как отдельные операции технологического процесса механической обработки неполной сферы, можно разделить на две группы: шлифование абразивными - алмазными кругами, доводка свободным абразивом.

Наш способ относится к первой группы, однако, как способ алмазно-абразивной обработки плоских поверхностей, в отличие от существующих способов, объединяет в себе положительные стороны способов вышеупомянутых двух групп, а именно: НПШ характеризуется высокой производительностью также при высокой точности обработки и качестве поверхности.

Для разработки теоретической схемы алмазной обработки сапфировых сфер с учетом кинематических и других положительных особенностей НПШ, были рассмотрены и проанализированы известные схемы формообразования неполной сферической поверхности.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Наиболее близким по кинематике к способу НПШ является способ шлифования неполной сферы торцом шлифовального круга с двойным вращением детали с угловыми скоростями ω_2 и ω_3 (фиг. 2), который взят за основу разработки оригинального варианта теоретической схемы алмазной обработки сапфировых сфер с учетом кинематических и других положительных особенностей способа НПШ.

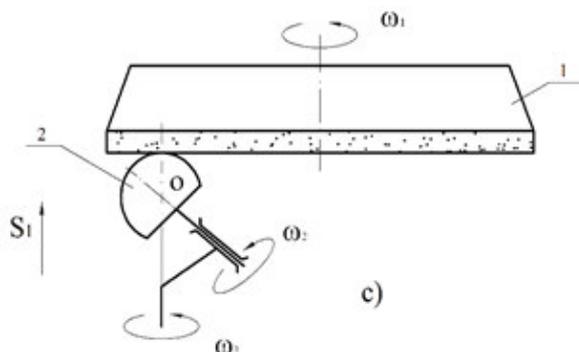


Рис.2. Схема формообразования неполной сферической поверхности торцевым алмазным кругом с двойным вращением детали:

- 1 – алмазный шлифовальный круг;
- 2 – обрабатываемая деталь – неполная сфера.

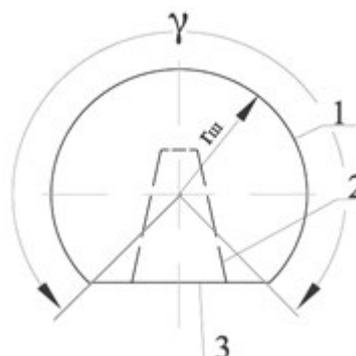


Рис.3. Сапфировая сферическая головка:
 $r_{ш}$ – радиус сферы;
 γ – угол сегмента сферической поверхности.

Нами были разработаны несколько вариантов [5, 6] теоретических схем формообразования неполной сферической поверхности. Один вариант оригинальной кинематической схемы формообразования неполной сферической поверхности сапфировой головки (фиг. 3) торцевым шлифовальным кругом представлен на (фиг.4). Режущим инструментом служит специальный, комбинированный торцевой шлифовальный круг с двумя концентричными алмазносными слоями, с режущими поверхностями в виде внутреннего, в точке А, и наружного, в точке В, отсеченных конусов.

Нами были разработаны несколько вариантов теоретических схем формообразования неполной сферической поверхности. Один вариант оригинальной кинематической схемы формообразования неполной сферической поверхности сапфировой головки (фиг.3) торцевым шлифовальным кругом представлен на фиг.4. Режущим инструментом служит специальный, комбинированный торцевой шлифовальный круг с двумя концентричными алмазносными слоями, с режущими поверхностями в виде внутреннего. В точке А, и наружного, в точке В, отсеченных конусов.

Шлифовальный круг совершает вращательное движение с угловой скоростью ω_1 . Обрабатываемая деталь - шар - совершает двойное вращательное движение с угловыми скоростями ω_2 вокруг собственной оси 4 и ω_3 вокруг оси 3, которая является осью шпинделя детали. Направление угловых скоростей ω_1 , ω_2 и ω_3 одинаковое. Обрабатываемая деталь 2 прижимается к режущей поверхности шлифовального круга в двух точках А и В подпружиненным усилием Р. При этом режущие поверхности шлифовального круга в осевом сечении образуют угол β .

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Отличительные признаки теоретической схемы от НПШ такие, как форма рабочей поверхности инструмента, дополнительное движение обрабатываемой детали – вращение шара вокруг собственной оси со скоростью ω_2 , форма контакта обрабатываемой поверхности детали с режущей поверхностью шлифовального круга.

Для создания равных условий обработки в двух точках А и В, необходимо соблюдать равенство как скоростей, так и усилий резания.

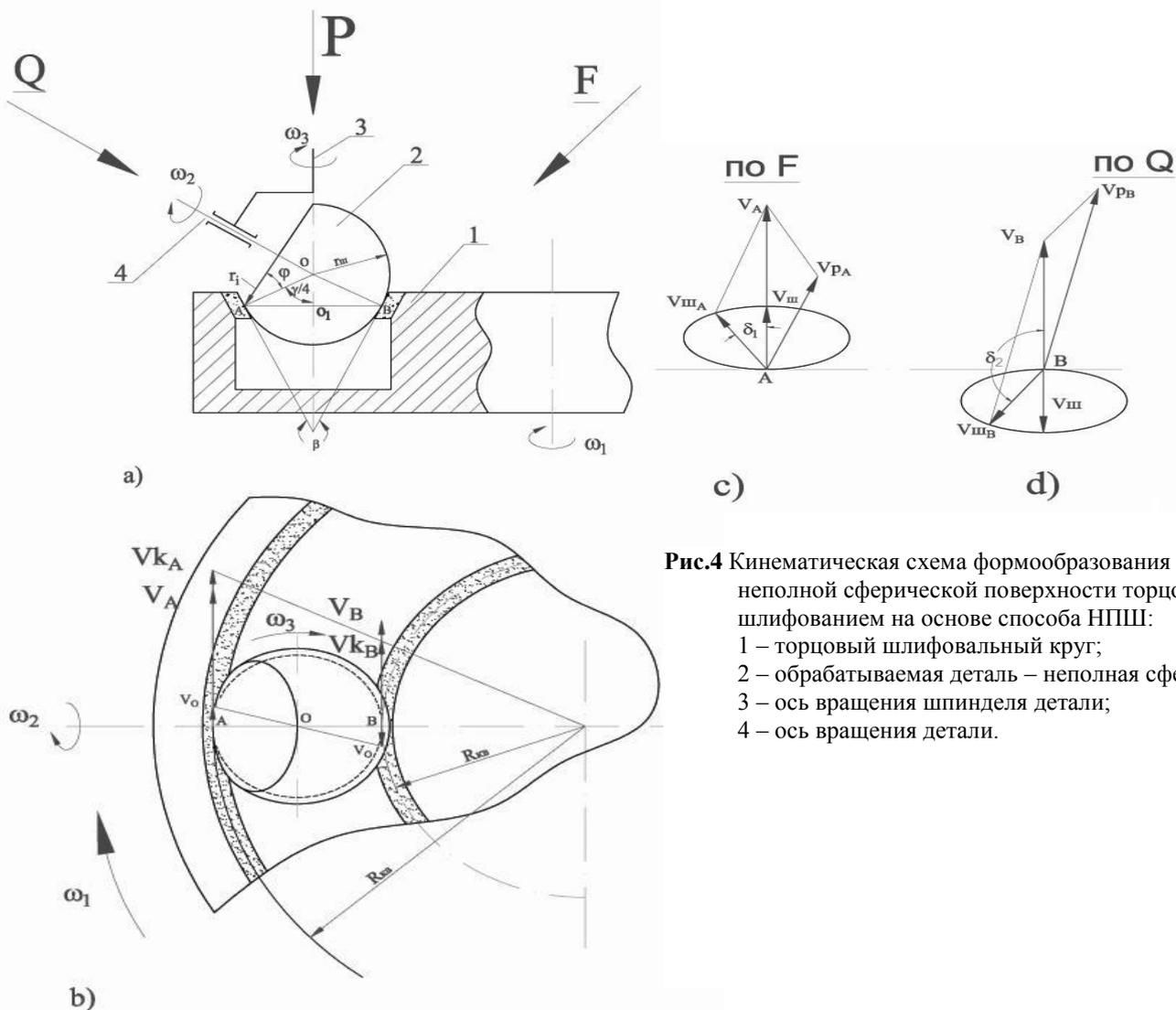


Рис.4 Кинематическая схема формообразования неполной сферической поверхности торцовым шлифованием на основе способа НПШ:
1 – торцовый шлифовальный круг;
2 – обрабатываемая деталь – неполная сфера;
3 – ось вращения шпинделя детали;
4 – ось вращения детали.

Скорость резания. Равенство условий обработки по скорости резания означает равенство максимальных значений скоростей резания и идентичность их законов изменения в цикле в двух зонах резания.

Скорости резания при шлифовании неполной сферы по предложенной схеме в точках А и В даются на фиг.4 в, с, и d.

Результирующая скорость резания v_{PA} в точке А

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_B - \vec{v}_{шB} \quad (1)$$

$$v_{PA} = \sqrt{v_A^2 + v_{шA}^2 - 2v_A \cdot v_{шA} \cdot \cos\delta_1} \quad (2)$$

где

$$v_A = v_{kA} - v_0 = R_{kA} \cdot \omega_1 - r_{ш} \sin \frac{\gamma}{4} \cdot \omega_3 \quad (3)$$

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

$$и \quad v_{\text{ША}} = r_{iA} \cdot \omega_2 \quad (4)$$

Аналогично точке А, в точке В результирующая скорость резания равна

$$\vec{v}_{\text{PB}} = \vec{v}_B - \vec{v}_{\text{ШВ}}, \quad (5)$$

$$v_{\text{PB}} = \sqrt{v_B^2 + v_{\text{ШВ}}^2 - 2v_B \cdot v_{\text{ШВ}} \cdot \cos \delta_2}, \quad (6)$$

$$где \quad v_B = v_{\text{KB}} - v_o = (R_{\text{КА}} - 2r_{\text{ш}} \cdot \sin \frac{\gamma}{4}) \cdot \omega_1 + r_{\text{ш}} \cdot \sin \frac{\gamma}{4} \cdot \omega_3 \quad (7)$$

$$и \quad v_{\text{ШВ}} = r_{iB} \cdot \omega_2 \quad (8)$$

Линейная скорость детали от вращательного движения с угловой скоростью ω_2

$$v_{\text{ШВ}} = r_i \cdot \omega_2 = \omega_2 r_{\text{ш}} \cdot \cos \varphi = \omega_2 \cdot r_{\text{ш}} \sqrt{\sin^2 \frac{\gamma}{4} \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{4} \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2} (1 + \sin \alpha)^2}, \quad (9)$$

где φ - угол наклона оси 4 относительно образующей рабочей поверхности круга в осевом сечении, α – угол поворота оси 4 относительно оси 3 с угловой скоростью ω_3 .

Текущий радиус r_i точки поверхности детали, при повороте оси 4 вокруг оси 3 на 180° , меняется в пределах $0 \leq r_i \leq r_{\text{ш}}$. Таким образом, для полного описания сферической поверхности в течение одного цикла достаточен один оборот детали вокруг оси 4, при повороте оси 4 относительно оси 3 на половину оборота, т.е. на 180° . Следовательно, в этих условиях обрабатываемая сферическая поверхность детали в течение одного цикла описывается дважды. По одному разу в каждой зоне обработки.

Исходя из вышесказанного, между угловыми скоростями ω_2 и ω_3 имеем зависимость

$$\omega_2 = 2 \omega_3. \quad (10)$$

v_{PA} достигает максимума при $\alpha = \pi \frac{3}{2}$, и, следовательно, $\delta_1 = \frac{\pi}{2}$.

$$v_{\text{PAmax}} = v_A = R_{\text{КА}} \cdot \omega_1 - r_{\text{ш}} \cdot \sin \frac{\gamma}{4} \omega_3 \quad (11)$$

v_{PB} достигает максимума при $\alpha = \frac{\pi}{2}$, и, следовательно, $\delta_2 = \pi$.

$$v_{\text{PBmax}} = R_{\text{КА}} \cdot \omega_1 - 2r_{\text{ш}} \sin \frac{\gamma}{4} \omega_1 + r_{\text{ш}} \cdot \sin \frac{\gamma}{4} \cdot \omega_3 + r_{\text{ш}} \sin \frac{\gamma}{2} \omega_2. \quad (12)$$

При условии $v_{\text{PAmax}} = v_{\text{PBmax}}$, по выражениям (10), (11) и (12) определяется отношение угловых скоростей ω_3 и ω_1

$$\frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{1}{1 + 2 \cos \frac{\gamma}{4}}. \quad (13)$$

Таким образом, по предложенной схеме формообразования неполной сферической поверхности для достижения равенства условий обработки по скорости резания надо соблюдать отношения угловых скоростей ω_1 , ω_2 и ω_3 , по выражениям (10) и (13).

Усилие прижима. Равенство условий в двух точках по усилию прижима достигается расположением обрабатываемой детали по отношению шлифовального круга. Подпружиненное усилие P проходит через центр O сферы и совпадает с биссектрисой угла β и таким образом проходит на равных расстояниях от двух А и В

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

зон обработки. В каждой зоне создаются равные усилия по $P/2$, которые в свою очередь слагаются из двух составляющих, нормальную P_N и тангенциальную P_τ (на фигуре не показаны). При этом:

$$P_N = \frac{P}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{4}, \quad P_\tau = \frac{P}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{4}.$$

Кинематическое сходство новой схемы формообразования со способом НПШ, учитывая сохранение физики процесса резания при НПШ, который и определил его название «Низкотемпературное» (низкая по сравнению с обычным шлифованием скорость резания -1,6 м/с и как следствие низкая температура в контакте -100°C), также «Прецизионное» (высокая точность формы рабочей поверхности инструмента достигается при правке и поддерживается в работе кинематикой процесса, чем и обеспечивается высокая точность обработки – плоско параллельность на пластине $10 \times 10 \text{ мм} \leq 1 \text{ мкм}$), позволяет предложенную схему формообразования, как исходящую из первого, назвать Низкотемпературным прецизионным шлифованием неполной сферы, в сокращении – НПШНС, который находится в процессе патентования.

Предполагается, что способ НПШНС, по сравнению с традиционными методами алмазного шлифования, которые применяются на сегодняшний день в технологическом процессе механической обработки сапфировой головки, при прочих равных условиях, позволит: значительно (не менее чем в два раза) повысить производительность обработки, не ухудшая показатели качества поверхности и точность формы изделия; значительно повысить качество обработанной поверхности и точность формы изделия, не увеличивая производительность обработки, тем самым также значительно уменьшить операционный припуск, в итоге время и себестоимость обработки на финишных операциях (переходах).

Таким образом, на наш взгляд, способ НПШНС может быть вполне конкурентоспособным на предварительных операциях, вплоть до финишной обработки, в технологическом процессе механической обработки сапфировой головки.

По долгосрочной программе предусмотрена организация евро проекта с созданием необходимого оборудования, инструментов, технологической оснастки и всего технологического процесса изготовления высокоточных сферических поверхностей из разных хрупких материалов повышенной прочности, в том числе и из сапфира.

Заключение

В результате исследования влияния кристаллографической ориентации монокристалла сапфира на интенсивность съема обрабатываемого материала, а также состояния подповерхностного слоя при доводке поверхностей методом низкотемпературного плоского шлифования установлено, что:

1. Обрабатываемость монокристалла сапфира значительно зависит от кристаллографической ориентации. Относительные величины съема материала при образцах с разными кристаллографическими ориентациями (1010) находятся в пределах $q_{0001}/q_{1010}=0.25 \dots 0.5$, и $q_{1012}/q_{1010}=0.75 \dots 1$. При других равных условиях процесса НПШ высшее качество шлифованной поверхности достигается для кристаллографической ориентации (1010). Разница с двумя остальными ориентациями кристаллографической плоскости находится в пределах 1...1.5 класса шероховатости.
2. Изучением морфологии обработанной поверхности доказана возможность резания материала сапфира пластическим деформированием снимаемого слоя

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

без образования трещин при низкой скорости резания. При таких условиях механической обработки была обнаружена наименьшая глубина поврежденного подповерхностного слоя.

3. Предложены новые кинематические схемы обработки неполных сферических поверхностей обеспечивающие более высокую геометрическую точность деталей, в частности сферических головок эндо протеза тазобедренного сустава человека.

Признательность

Работа поддержана Национальным научным фондом им. Шота Руставели (SRNSF) [PHDF-19-2224, Повышение эффективности мехатронных систем для обеспечения реформы «Индустрии-4.0»].

Список литературы: 1. Batiashvili B.I., Butskhrikidze D.S., Mamulashvili G.L., Mgaloblishvili O. B., Turmanidze R.S., Kromp K., Mills B., Steinkellner W., Schafler E., Rösel F. G., Peterlik H. Evaluation of surface preparation techniques, SFG: Swing Frame Grinding and LPG: Low Temperature Precision Grinding, by comparison of results on alumina and siliconcarbide model materials. FRACTOGRAPHY OF ADVANCED CERAMICS. International Conference Stará Lesná, High Tatras, May 2001. 2. Batiashvili B.I., Butskhrikidze D.S., Mamulashvili G.A., Turmanidze R.S., Kromp K., Mills B., Mgaloblishvili O. Technological Possibilities of Low Temperature Precision Grinding Process when Machining Hard and Brittle Materials. FRACTOGRAPHY OF ADVANCED CERAMICS, International Conference, Stará Lesná, High Tatras, May 2001. 3. Turmanidze R.S, Butskhrikidze D.S, Kromp K., Mills B., “Low temperature precision grinding of hard and brittle materials”. Problems of mechanics and physiko-chemistry of the process of abrasive machining, Kiev 2002, 490-499 pp. 4. Turmanidze R.S., Butskhrikidze D.S., Mamulashvili G.L., Kromp K., Mills B., Morgan M., Mgaloblishvili O. Low-temperature precision grinding of hard and brittle materials and Outlook of its development and application. Proceedings of 19th NCMR Conference. Glasgow, September 2003. 5. R. Turmanidze, D. Butskhrikidze, E. Kutelia, M. Beridze, Influence of the Sapphire Crystal Anisotropy of Medical Purpose on Workability of the Endoprosthesis Material at a Low Temperature Precision Grinding. “MicroCAD 2008” International Scientific Conference. 20-21 March, 2008. Section N: Production Engineering and Manufacturing Systems. University of Miskolc, Hungary. ISBN 978-963-661-812-4 Ö ISBN 978-963-661-823-0. 6. R. Turmanidze, G. Popkhadze, Selection criteria of optimal characteristic material and technologies for precision processing of basic working surface of human hip-joint implant. 9TH INTERNATIONAL CONGRESS ON PRECISION MACHINING. ATHENS, GREECE-2017, ISSN 0377-6883.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ВЕСОМОЙ БАЛКИ С
ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ДИСКРЕТНЫХ МАСС**

Царенко С.Н., Языков М.И. (КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)
Тел. +7 (4152) 300977; E-mail: Tsarenko_SN@kamchatgtu.ru

Abstract: Bending vibrations of the beam, as systems with distributed and local parameters are considered. A combined approach using the initial parameter method and the force method is used to determine the natural frequencies. The proposed algorithm for solving the problem simplifies the process of compiling a frequency equation in contrast to existing methods. For example, the frequencies of bending vibrations of a weighted beam with three concentrated masses are found.

Key words: bending vibrations, natural frequencies, force method, weighted beam, system with distributed parameters.

Для расчета ряда элементов строительных и машиностроительных сооружений, а также деталей машин используют системы с распределенными параметрами, т.е. системы с бесконечным числом степеней свободы. На первом этапе проведения динамического расчета данных конструкций стоит задача по определению спектра собственных частот. В учебной литературе по курсу сопротивления материалов [1, 2, 3] данный вопрос рассмотрен недостаточно полно, в основном он сводится к определению спектра собственных частот нескольких простых балочных схем, как систем с распределенными параметрами, далее следуют приближенные и упрощенные методы динамического расчета.

Весьма подробно рассмотрены задачи по нахождению частотных характеристик при продольных, крутильных и изгибных колебаниях, с использованием метода начальных параметров в научных и методических работах проф. Шевченко Ф.Л. [4,5,6,7]. Но и там практические расчеты ограничивались балками с двумя – тремя участками при наличии одной, двух сосредоточенных масс, что связано с большой трудоемкостью составления частотного уравнения методом начальных параметров. Большинство приближенных методов позволяют получить лишь первую частоту собственных колебаний, и не позволяют оценить значимость последующих частот. Таким образом, поиск новых методов составления частотных уравнений является актуальной научно-практической задачей.

Известно, что уравнение прогибов для произвольной формы колебаний по методу начальных параметров имеет вид [5]

$$y(x) = y_0 A_{kx} + \frac{\alpha_0}{k} B_{kx} + \frac{M_0}{k^2 EJ_z} C_{kx} + \frac{P_0}{k^3 EJ_z} D_{kx}. \quad (1)$$

При наличии на весомай балке (рисунок 1, а)) сосредоточенной массы M_a в сечении $x = a$ нужно учесть силу инерции этой массы

$$P_i = M_a \omega^2 y_a = M_a \frac{k^4 EJ_z}{m} y_a \quad (2)$$

в уравнении (2) слагаемым, аналогичным слагаемому, содержащему начальный

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

параметр P_0 , т.е. в (1) следует добавить

$$\frac{P_u}{k^3 EJ_z} D_{k(x-a)} \cdot e(x-a),$$

где $e(x-a)$ - единичная функция.

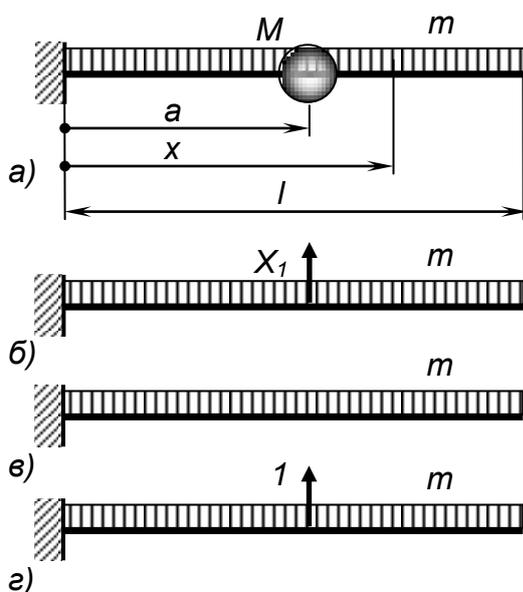


Рис. 1. Расчетная схема консольной балки

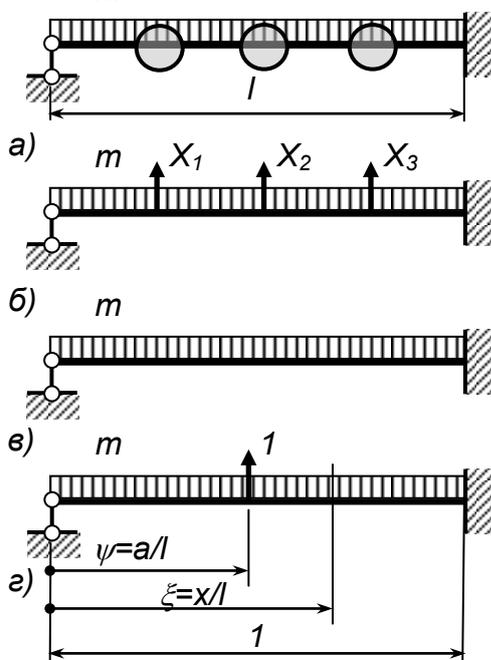


Рис. 2. Расчетная схема балки с тремя сосредоточенными массами

Заменяв сосредоточенную массу неизвестной силой $X_1 = P_u$, мы получим систему эквивалентную заданной (рисунок 1, б)), таким образом, систему с распределенными параметрами, при наличии n сосредоточенных масс будем рассматривать, как n -раз статически неопределимую. При решении статических задач одним из наиболее эффективных способов раскрытия статической неопределимости является метод сил, используем аналогичный подход и к решению динамической задачи. В качестве основной системы будет исходная система без наличия сосредоточенных масс (рисунок 1, в)), а для составления канонических уравнений воспользуемся не кинематическими условиями, а силовым соотношением $X_1 = P_u$, тогда

$$X_1 = M_a \frac{k^4 EJ_z}{m} y_a,$$

введем обозначения $\zeta = \frac{M_a}{ml}$, $\lambda = kl$, а прогиб

$$y_a \text{ будем искать в виде } y_a = \frac{\delta_\lambda}{k^3 EJ_z Y_\lambda} X_1,$$

$\frac{\delta_\lambda}{k^3 EJ_z Y_\lambda}$ - перемещение сечения в котором

приложена масса для схемы (рисунок 1, в)), Y_λ - функция соответствующая частотному уравнению для основной системы, подставив введенные обозначения, получим

$$X_1 = \zeta \frac{\delta_\lambda}{Y_\lambda} X_1, \quad (3)$$

тогда частотное уравнение принимает вид

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

$$Y_{\lambda} - \zeta \delta_{\lambda} = 0.$$

Для практического примера возьмем исходные данные из задачи 12.7 [7]: балка из двутавра №20 длиной $l=4$ м с погонной массой $m=400$ кг/м содержит три одинаковые сосредоточенные массы $M=900$ кг на равных расстояниях между опорами (рисунок 2, а)). Жесткость балки при изгибе задана - $EJ=3,68 \cdot 10^6$ Нм². Заменяя массы неизвестными силами X_1, X_2, X_3 (рисунок 2, б)), получим эквивалентную систему. На рисунок 2, в) представлена основная система. Приложим в основной системе единичную силу на произвольном расстоянии a от левой опоры и определим уравнения прогибов и углов поворота для сечения x по методу начальных параметров (рисунок 2, з)):

$$y(x) = \frac{\alpha_0}{k} B_{kx} + \frac{P_0}{k^3 EJ_z} D_{kx} + \frac{1}{k^3 EJ_z} D_{k(x-a)} e^{(x-a)},$$

$$\alpha(x) = \alpha_0 A_{kx} + \frac{P_0}{k^2 EJ_z} C_{kx} + \frac{1}{k^2 EJ_z} C_{k(x-a)} e^{(x-a)}.$$

Начальные параметры α_0 и P_0 определим из условий закрепления правого конца балки ($y(l)=0, \alpha(l)=0$):

$$\alpha_0 = \frac{D_{\lambda} C_{\lambda(1-\psi)} - C_{\lambda} D_{\lambda(1-\psi)}}{k^2 EJ_z (B_{\lambda} C_{\lambda} - A_{\lambda} D_{\lambda})}; P_0 = \frac{A_{\lambda} D_{\lambda(1-\psi)} - B_{\lambda} C_{\lambda(1-\psi)}}{B_{\lambda} C_{\lambda} - A_{\lambda} D_{\lambda}},$$

где, $\lambda = kl$, $\psi = \frac{a}{l}$ - относительная координата сечения приложения единичной силы, также учтем, что знаменатель в начальных параметрах соответствует частотному уравнению для основной системы $Y_{\lambda} = B_{\lambda} C_{\lambda} - A_{\lambda} D_{\lambda}$. Уравнение перемещений принимает вид

$$y(\xi) = \frac{(D_{\lambda} C_{\lambda(1-\psi)} - C_{\lambda} D_{\lambda(1-\psi)}) B_{\lambda \xi} + (A_{\lambda} D_{\lambda(1-\psi)} - B_{\lambda} C_{\lambda(1-\psi)}) D_{\lambda \xi} + Y_{\lambda} D_{k(\xi-\psi)} e^{(\xi-\psi)}}{k^3 EJ_z Y_{\lambda}},$$

или $y(\xi) = \frac{\delta_{\lambda}(\xi, \psi)}{k^3 EJ_z Y_{\lambda}},$

где $\xi = \frac{x}{l}$ - относительная координата сечения, в котором ищем прогиб,

$$\delta_{\lambda}(\xi, \psi) = (D_{\lambda} C_{\lambda(1-\psi)} - C_{\lambda} D_{\lambda(1-\psi)}) B_{\lambda \xi} + (A_{\lambda} D_{\lambda(1-\psi)} - B_{\lambda} C_{\lambda(1-\psi)}) D_{\lambda \xi} + Y_{\lambda} D_{k(\xi-\psi)} e^{(\xi-\psi)}.$$

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Тогда с учетом условий задачи соответственно уравнению (3) получаем систему уравнений

$$\begin{cases} X_1 = \frac{\zeta_\lambda}{Y_\lambda} (\delta_\lambda(0.25,0.25)X_1 + \delta_\lambda(0.25,0.5)X_2 + \delta_\lambda(0.25,0.75)X_3) \\ X_2 = \frac{\zeta_\lambda}{Y_\lambda} (\delta_\lambda(0.5,0.25)X_1 + \delta_\lambda(0.5,0.5)X_2 + \delta_\lambda(0.5,0.75)X_3) \\ X_3 = \frac{\zeta_\lambda}{Y_\lambda} (\delta_\lambda(0.75,0.25)X_1 + \delta_\lambda(0.75,0.5)X_2 + \delta_\lambda(0.75,0.75)X_3). \end{cases}$$

Приравняв определитель системы нулю, получаем частотное уравнение

$$\begin{vmatrix} Y_\lambda - \zeta_\lambda \delta_\lambda(0.25,0.25) & -\zeta_\lambda \delta_\lambda(0.25,0.5) & -\zeta_\lambda \delta_\lambda(0.25,0.75) \\ -\zeta_\lambda \delta_\lambda(0.5,0.25) & Y_\lambda - \zeta_\lambda \delta_\lambda(0.5,0.5) & -\zeta_\lambda \delta_\lambda(0.5,0.75) \\ -\zeta_\lambda \delta_\lambda(0.75,0.25) & -\zeta_\lambda \delta_\lambda(0.75,0.5) & Y_\lambda - \zeta_\lambda \delta_\lambda(0.75,0.75) \end{vmatrix} = 0.$$

Первые четыре корня этого уравнения будут: $\lambda_1 = 2,906$; $\lambda_2 = 3,508$; $\lambda_3 = 5,444$; $\lambda_4 = 6,999$, соответствующие им частоты $\omega_n = \frac{\lambda_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_z}{m}}$: $\omega_1 = 50,625 \text{ c}^{-1}$; $\omega_2 = 73,772 \text{ c}^{-1}$; $\omega_3 = 177,678 \text{ c}^{-1}$; $\omega_4 = 293,661 \text{ c}^{-1}$. Частота, найденная по упрощенному методу для заданной схемы [7] $\omega = 49,08 \text{ c}^{-1}$. Погрешность составляет 3,05%, что приемлемо. Но из расчета видно, что вторая частота достаточно близка к первой, таким образом, замена данной схемы одно массовой является весьма грубым упрощением. Аналогичный подход, составляя смешанные силовые и кинематические соотношения можно использовать для решения простейших рамных конструкций.

Список литературы: 1. Беляев Н.М. Соппротивление материалов. – М.: ГИТТЛ, 1958. – 856 с. 2. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1970. – 544 с. 3. Посацький С.Л. Опір матеріалів. – Львів: Видавництво Львівського університету, 1973. – 403 с. 4. Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем, часть 3. Динамическое воздействие нагрузок.- Киев: УМК ВО, 1993. – 188 с. 5. Шевченко Ф.Л. Динамика упругих стержневых систем.- Донецк: ООО «Лебедь», 1999. – 268 с. 6. Шевченко Ф.Л. Оценка точности упрощенного динамического расчета систем с распределенными параметрами на примере однопролетной жестко защемленной балки с консолью / Ф.Л. Шевченко, С.Н. Царенко // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2011. – Вып. 45. – С.159–167. 7. Шевченко Ф.Л. Задачі з опору матеріалів / Ф.Л. Шевченко, С.М. Царенко. – Донецьк: ФОП Бабалік А.В., 2011. – 356 с.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ
ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СТАНКОВ С ЧПУ**

Пилякин Г.П., студ., Лахин А.М. доц.
(каф.ТМ, ГОУ ВПО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР)
Тел./факс: +38(062)3010805; E-mail: lelax@mail.ru

***Аннотация.** В работе исследованы особенности современных станков с программным управлением, рассмотрена их структура и взаимодействия различных подсистем. Определены основные требования к системам ЧПУ*

***Ключевые слова:** Станок с ЧПУ, деталь, управление, оснастка.*

1. Введение.

Современные достижения кибернетики, электроники, вычислительной техники и приборостроения обусловили создание системы программного управления станком, которые в настоящее время широко используются в промышленности. Особенностью данных станков является то что перемещения исполнительных органов определяются числом импульсов, записанных в определенной последовательности на носителе информации. Данная последовательность импульсов формирует управляющую программу станка с ЧПУ. Это значительно упрощает и удешевляет настройку оборудования на выпуск деталей. Поэтому целью данной работы является исследование технологических возможностей и особенностей применения современных станков с ЧПУ.

2.Основное содержание и результаты работы

Все станки с автоматизированным циклом, по виду управления подразделяют на станки и системами циклового управления и станки с системами числового программного управления. Первые - более просты, так как в них программируется только цикл работы станка, а величины рабочих перемещений задаются упрощенно, например, с помощью упоров. В станках с ЧПУ управление осуществляется от программы, в которой в числовом виде занесена и геометрическая, и технологическая информация [1].

В системах ЧПУ программу задают в виде массива информации. Управляющая информация для систем ЧПУ является дискретной и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами. Управление технологическими циклами практически повсеместно осуществляется с помощью программируемых логических контроллеров, реализуемых на основе принципов цифровых электронных вычислительных устройств

Структурная схема системы ЧПУ представлена на рис.1, а. Чертеж детали (ЧД), подлежащий обработке, одновременно поступает в систему подготовки программы (СПП) и систему технологической подготовки (СТП), которая обеспечивает систему подготовки программы данными о технологическом процессе и режимах обработки. На основании этих данных разрабатывается управляющая программа (УП). После этого наладчики устанавливают на станок приспособления и режущие инструменты. Установку заготовки и снятие готовой детали осуществляет оператор или автоматический загрузчик. Считывающее устройство (СУ) считывает информацию с носителя программы. Информация поступает в устройство ЧПУ, которое выдает

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

управляющие команды на целевые механизмы (ЦМ) станка, осуществляющие основные и вспомогательные движения цикла обработки.

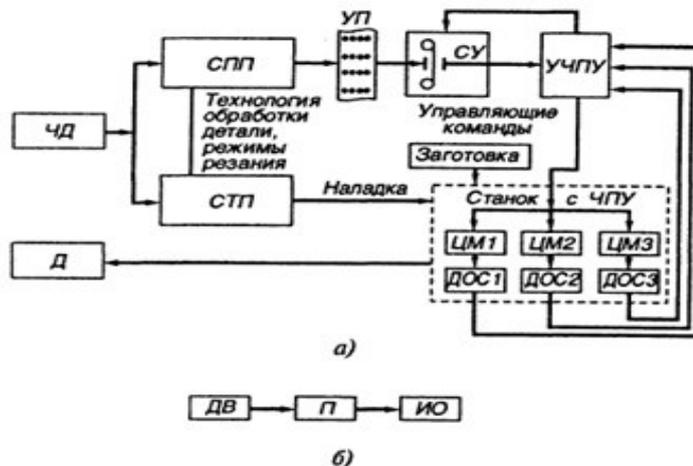


Рис. 1. Структурная схема использования системы ЧПУ и целевого механизма

Станок также содержит несколько целевых механизмов (рис. 1, б), каждый из которых включает в себя: двигатель (ДВ); передачу (П), служащую для преобразования энергии и ее передачи от двигателя и собственно исполнительный орган (ИО) (стол, салазки, суппорт, шпиндель и т.д.), выполняющие координатные перемещения [2].

Уровень современной технологии позволяет создавать трехмерные компьютерные модели деталей сложной формообразующей оснастки штампов и пресс-форм и изготавливать их на станках с ЧПУ даже в условиях единичного производства. При этом подготовка управляющей программы осуществляется автоматически на основе трехмерной модели изделия. При этом не требуется создания опытных образцов, что значительно сокращает затраты на подготовку производства.

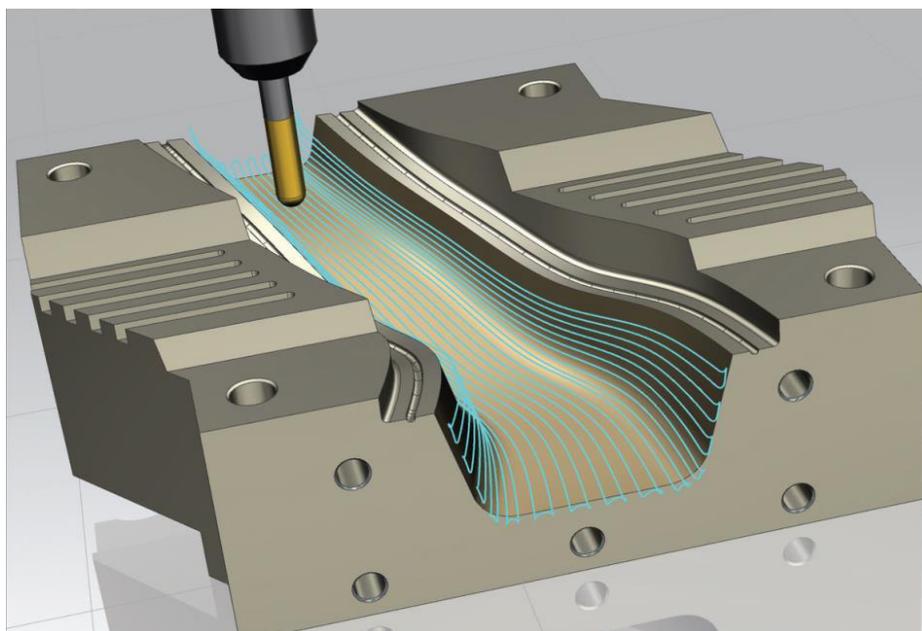


Рис. 2. Обработки детали штампа на станке с ЧПУ

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В последнее время развитие систем ЧПУ претерпело некоторые изменения. Если ранее единственной тенденцией развития таких станков была тенденция превращения их в обрабатывающие центры с инструментальными магазинами и ручным составлением управляющих программ, то с появлением мощных компьютеров стало возможным создавать управляющие программы автоматически, сократив до минимума количество ручного труда. Это позволило разрабатывать управляющие программы для обработки сложных трехмерных поверхностей без необходимости их описания, используемых чаще всего в формообразующих деталях оснастки штампов и пресс-форм. При этом требования, предъявляемые к станкам с числовым программным управлением, изменились. Произошло это в основном благодаря увеличению размера и структурным изменениям управляющей программы, а также существенному увеличению доли основного времени обработки при соответствующем уменьшении доли вспомогательного времени [3].

Обработка при этом ведётся преимущественно одним инструментом много часов подряд, а станок теряет уже ставшее привычным оснащение: магазины, столы-спутники и т.д. Количество управляемых координат при этом возросло до пяти. Но вместе с этим значительно выросли требования к системе ЧПУ.

Учитывая имеющийся на данный момент практический опыт, можно выделить следующие требования к современным системам ЧПУ:

1. Возможность ввода (приема с внешнего носителя или через сеть) управляющих программ неограниченного размера, их редактирования и исполнения как единого целого.

2. С целью уменьшения основного времени обработки должна быть обеспечена опережающая (к исполнению) расшифровка кадров управляющей программы:

- обработка движения без снижения до нуля скорости в конце перемещения;
- определение предельных ускорений по управляемым осям с учетом динамических характеристик станка;
- возможность перехода с одной траектории обработки на другую на рабочей подаче без торможений и разгонов по трехмерной петле, рассчитанной системой САМ;
- возможность работы на повышенных скоростях рабочих подач (до 60 м/мин).

3. С целью снижения времени переналадки должен быть обеспечен доступ к файлам и ресурсам конструкторского и технологического бюро через стандартную сеть, включая поддержку стандартных (в том числе распределенных) баз данных:

- встроенная функция трехмерной коррекции траектории движения инструмента на величину его радиуса;
- возможность интеграции с САМ-сервером для выполнения полноценной коррекции УП по результатам предыдущих операций;
- привязка набора управляющих программ, подпрограмм, корректоров, параметров системы и служебной информации к конкретному изделию (проекту);
- возможность автоматизированного контроля размеров детали и инструмента.

4. С целью увеличения коэффициента загрузки оборудования в условиях единичного и мелкосерийного производства – возможность работы совместно с системой управления верхнего уровня на основе стандартных сетевых технологий, возможность информационной поддержки систем планирования и диспетчеризации на уровне цеха или участка.

5. С целью увеличения ремонтпригодности и уменьшения времени поиска неисправностей – наглядное представление сигналов электроавтоматики в

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

соответствии с электрической схемой станка и приведенными в техническом описании алгоритмами работы:

6. С целью обеспечения гибкости системы – возможность постоянной доработки системы ЧПУ в соответствии с непрерывно растущими требованиями современного производства, в частности: быстрой адаптации к любому технологическому оборудованию (в том числе не металлорежущему), интеграции со сложными автономными системами (например, с системами технического зрения) и пр.

Для эффективного использования станков с ЧПУ необходимо создать систему организованного обеспечения как комплекс взаимодействующих мероприятий, подчиненных основной задаче - изготовлению деталей высокого качества в намеченные сроки при минимальных затратах труда и себестоимости. Система организации работ должна включать технико-экономическое обоснование применения станков с ЧПУ, номенклатуру деталей для обработки на станках, специальную структуру системы, надлежащее обслуживание станков, автоматизированную разработку управляющих программ. Опыт отечественных и зарубежных предприятий свидетельствует о целесообразности установки станков с ЧПУ в одном производственном помещении, создание специализированных цехов и участков. Расположение станков в одном помещении создает условия для более качественного их обслуживания, многостаночного обслуживания, улучшения планирования и контроля за работой оборудования и т. п.

3. Выводы.

Таким образом применение станков с ЧПУ в сравнении с обычным оборудованием создает ряд технико-экономических преимуществ. Производительность этих станков выше при меньшей потребности в производственных площадях. Значительно вырастает производительность труда у рабочих.

Большой эффект дают станки с ЧПУ при выполнении особо сложных операций, поэтому с их использованием высвобождаются высококвалифицированные рабочие, а также резко сокращаются затраты на технологическую подготовку производства, эксплуатацию инструмента, содержание контролеров отдела технического контроля.

Главный эффект применения программного оборудования заключается в увеличении до 80-90% загрузки оборудования за счет резкого сокращения вспомогательного времени и времени на переналадку оборудования.

Список литературы: 1. "Электроник", Системы ЧПУ // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <http://elektronik-chel.ru/literature/sistemyi-chpu.html>. 2. StudFiles // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <https://studfile.net/preview/6021773/page:6/> 3. Николай Паньшев, Дмитрий Ялымов: Система числового программного управления технологическим оборудованием // Загл. с титул. экрана.- Режим доступа - <https://www.fastwel.ru/solutions/sistema-chislovogo-programmnogo-upravleniya-tekhnologicheskim-oborudovaniem-nc-2000/>.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

Антонюк Д. Н., Коваленко В.И. (ДонНТУ, г. Донецк)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

***Abstract:** The article indicates the main methods of metal cutting: mechanical and thermal. Three groups of thermal cutting processes are distinguished: oxidation, melting and melting with oxidation. Oxy-flux cutting is considered in more detail, in which fluxes of thermomechanical (iron powder) or mechanical (ordinary quartz sand) action are used.*

***Key words:** metal, cutting, cutting methods.*

Резка металла осуществляется двумя основными способами – механическим (точение, фрезерование, шлифование, распилка, разрезание ножницами и т.д.) и термическим, исключая применение силового воздействия и основывающимся на использовании струи какого-либо вещества, будь то газ, вода и т.д. [1,2,3].

Термическая резка – способ удаления металла с поверхности тела (проката) или разделения металлического предмета на части путем его проплавления по заданной линии или объему. Так же термической резкой называют обработку металла (вырезку заготовок, строжку, создание отверстий) посредством нагрева. Отличается от других видов высокой производительностью при относительно малых затратах энергии и возможностях получения заготовок любого сколь угодно сложного контура при большой толщине металла.

Можно выделить три группы процессов термической резки: окислением, плавлением и плавлением с окислением.

При резке окислением металл в зоне резки нагревают до температуры его воспламенения в кислороде, затем сжигают его в струе кислорода, используя образующуюся теплоту для подогрева следующих участков металла. Продукты сгорания выдувают из реза струей кислорода и газов, образующихся при горении металла. К резке окислением относится газопламенная (кислородная) и кислородно-флюсовая резка.

Кислородная резка. Процесс кислородной резки заключается в локальном нагреве металла докрасна и последующем окислении струей технически чистого кислорода. Струя воздуха выделяет расплавленный металл.

Кислородно-флюсовая резка. Сущность процесса кислородно-флюсовой резки состоит в том, что в зону реза, подогретую газовым пламенем, вместе со струей режущего кислорода вводят порошок флюса, который сгорает в кислороде, выделяя теплоту, повышающую температуру в зоне реза, - это термическое воздействие флюса. Продукты сгорания флюса образуют с тугоплавкими окислами разрезаемого материала жидкотекучие шлаки, которые удаляются из реза струей режущего кислорода - это химическое действие флюса. И, наконец, частицы порошка флюса сгорают не сразу и, перемещаясь в процессе горения в глубину реза, ударным трением стирают с поверхности кромок тугоплавкие окислы, способствуя их удалению из реза, - это абразивное действие флюса.

При кислородно-флюсовой резке применяют флюсы термомеханического или механического действия. В первом случае, флюс (железный порошок) сгорает в резе с выделением значительного количества теплоты, образует при окислении закись железа (FeO), сильно разжижающую шлаки, и способствует механическому удалению расплавленных шлаков из полости реза. Во втором случае флюс (обычный кварцевый

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

песок) плавится в зоне реакции без выделения дополнительного количества теплоты, но связывает тугоплавкие окислы в более легкоплавкие соединения, т. е. оказывает чисто флюсующее действие в процессе резки. Помимо этого, частицы песка, проходя через образуемый разрез с большой скоростью, способствуют механическому удалению расплавленных шлаков.

На рис. 1 приведена схема кислородно-флюсовой резки.

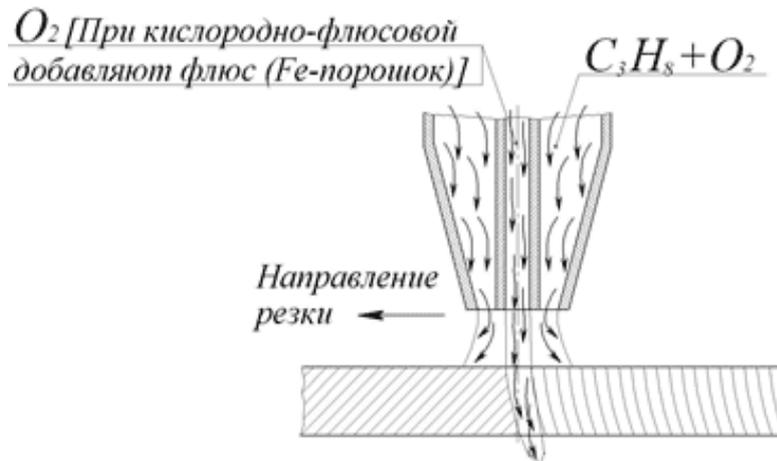


Рис. 1. Схема кислородно-флюсовой резки

При резке плавлением металл в месте резки нагревают мощным концентрированным источником тепла выше температуры его плавления и выдувают расплавленный металл из реза с помощью силы давления дуговой плазмы, реакции паров металла, электродинамических и других сил, возникающих при действии источника тепла, либо специальной струей газа. К способам этой группы относятся дуговая, воздушно-дуговая, сжатой дугой (плазменная), лазерная и термогазоструйная резка.

При резке плавлением-окислением применяют одновременно оба процесса, на которых основаны две предыдущие группы способов резки. К способам этой группы относятся кислородно-дуговая, кислородно-плазменная, кислородно-лазерная резка.

Газокислородной резкой называют способ разделения металла, основанный на использовании для его нагрева до температуры воспламенения теплоты газового пламени и экзотермической реакции окисления металла, а для удаления окислов - кинетической энергии струи режущего кислорода.

Выводы. В статье указываются основные способы резки металла: механический и термический. Выделены три группы процессов термической резки: окислением, плавлением и плавлением с окислением. Более подробно рассмотрена кислородно-флюсовая резка.

Список литературы: 1. Готлиб Б.М. Технология автоматизированного машиностроения. Том 1. Основы традиционной технологии машиностроения Екатеринбург: УрГУПС, 2011. — 308 с. 2. Справочник электрогазосварщика и газорезчика: учебное пособие / Г.Г. Чернышов, Г.В. Полевой, А.П. Выборнов [и др]; под ред. Г.Г. Чернышова. – М.: Академия, 2004. – 393 с. 3. Сварка и резка материалов: учебное пособие для начального профессионального образования / Ю.В. Казаков, М.Д. Банов, М.Г. Козулин [и др].; под ред. Ю.В. Казакова. – М.: Академия, 2004. – 398 с.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СПИННЫХ ИМПЛАНТОВ**

Салосин В.И., Лахин А.М.

(каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье представлены способы и особенности изготовления спинных имплантов из материала РЕЕК (полиэфирэфиркетон).

Ключевые слова: кейдж, позвоночный столб, интактный межпозвоночный диск, полиэфирэфиркетон, 3D печать, SolidCAM, термообработка.

Введение

Распределение нагрузок между передней, средней и задней колонной позвоночниками - сложный многофакторный процесс, создающий баланс между элементами позвоночного столба. В нейтральном положении приблизительно 80 % нагрузки приходится на интактный межпозвоночный диск, а 20% - на задние элементы рис. 1.

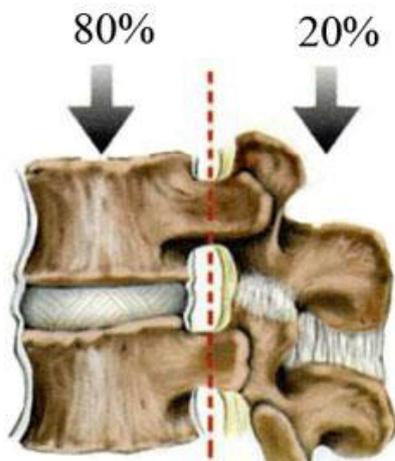


Рис.1. Распределение нагрузок позвоночного столба

Изменение положения позвонков относительно друг друга, вызывает боли и сдавливание нервов. Это состояние называется нестабильностью позвоночного сегмента. Нестабильность может приводить к смещению или соскальзыванию позвонка – спондилолистезу. В случаях нестабильности позвонков кроме удаления грыжи диска или расширения позвоночного канала требуется фиксировать излишне подвижные позвонки. Наиболее надежный способ – это фиксация их с помощью кейджа и транспедикулярных винтов. Такой способ получил

название TLIF, от английского transforaminal lumbar interbody fusion.



Рис. 2. Удален диск и создано пространство для кейджа

Во время такого способа фиксации требуется добраться до пораженного межпозвоночного диска. Для этого удаляют небольшую часть позвонков. Костные фрагменты пациента в конце операции используют для сращения позвонков. Во время этого вмешательства удаляется весь диск вместе с грыжей, что исключает ее повторное появление рис.2.

Подготовленный удаленный диск служит вместилищем для искусственной замены диска – кейджа рис.3. Кейдж – это заменитель диска, который изготавливается из специализированного пластика РЕЕК (полиэфирэфиркетон), который представляет собой исключительно прочный

биополимер. Обладает более высокой биосовместимостью, в отличии от титана.. По биофизическим свойствам материал ближе других известных материалов к свойствам человеческой кости. Благодаря пластичности и твёрдости схожей с человеческой

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

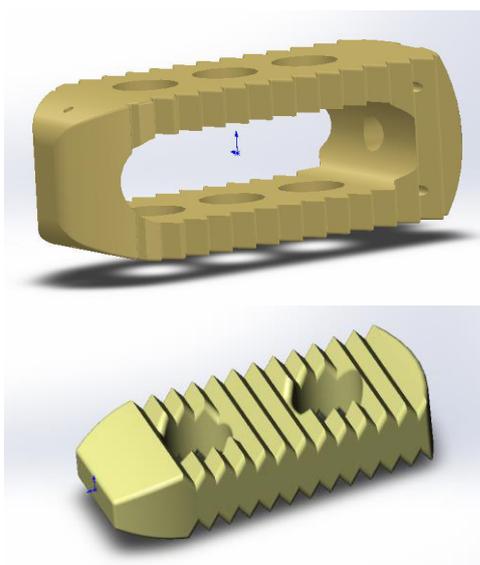


Рис. 3. 3D модели кейджа

операции ходить и сидеть. Пожизненное срастание позвонков происходит в течение 4-6 месяцев, когда наступает костное сращение позвонков – спондилодез.

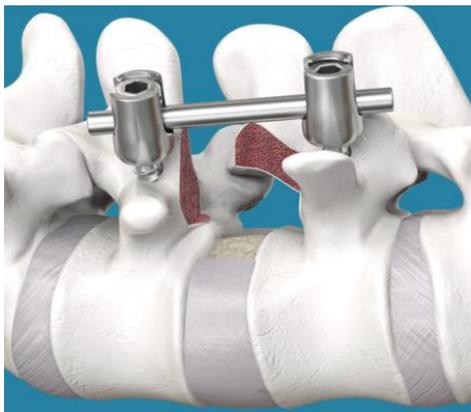


Рис. 4. Крепление титановыми винтами и стержнями

увеличивает стоимость изготовления имплантов. Для решения этой проблемы был выбран метод получения детали с помощью фрезеровки на ЧПУ станке.

Для написания управляющей программы была использована САМ система Solid САМ, предназначенная для программирования токарных и фрезерных станков с ЧПУ. Для простоты настройки траектории обработки заготовок, 3D модель кейджа была разбита на отдельные обрабатываемые поверхности рис.5.

костью имплант из РЕЕК не травмирует живые клетки. Позволяет адаптировать напряжение так, чтобы не вызывать изменение в кости, её смещение в местах нагрузки Кейдж внутри пустой и заполняется костными фрагментами, удаленными ранее или искусственной костью.

После удаления диска кейдж устанавливается в диск после небольшого разведения позвонков. Это прочно фиксирует кейдж и создает условия для их срастания.

Завершается операция окончательным скреплением титановыми винтами и стержнями, которые прочно удерживают позвонки рис. 4. Таким образом ликвидируется патологическая подвижность, нестабильность. Позвонки сразу после операции надежно фиксированы, что позволяет пациенту через несколько часов после

Для получения имплантов кейджей был выбран метод 3D печати. Однако печать таким пластиком накладывает некоторые требования к параметрам печати. Разбег температур, при которых происходит печать пластиком РЕЕК – 350 – 420 градусов на экструдере и 120 – 150 градусов на платформе. Так же необходима закрытая камера, желательно с подогревом и терморегуляцией.

После получения напечатанных деталей, для них необходимо произвести термообработку, чтобы перевести из аморфного состояния в полукристаллическое и снять напряжения. Соблюдение всех требований значительно

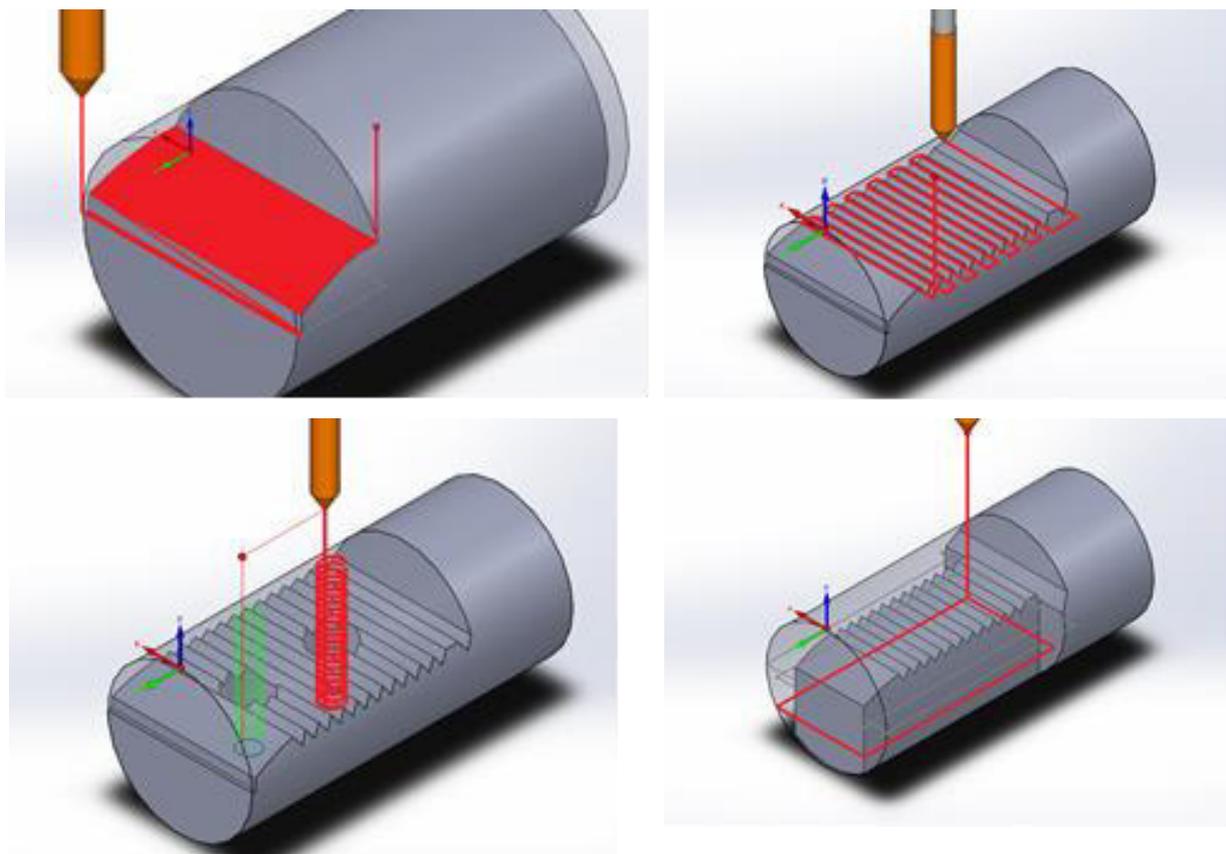
**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Рис. 5. Траектория обработки заготовок

При создании траектории обработки главными критериями были: уменьшение машинного времени обработки, использование минимального количества режущего инструмента и экономия материала.

Таким образом, в производстве кейджей целесообразнее применять традиционные методы обработки фрезерованием. Однако аддитивные технологии будут более эффективными при создании деталей со сложной геометрической формой.

Список литературы: 1. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 68 с.: 2. Горьков Д. 3D-печать с нуля. 2015г. 400с. 3. 3DGence ПЭЭК – Передовая практика. 4. Техника и принципы хирургического лечения заболеваний и повреждений позвоночника / А.В. Басков, И.А.Борщенко, – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 136 с. : ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕЙСТВИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛОПАТКИ
КОМПРЕССОРА И ТУРБИНЫ

Анастасьева В.А., Михайлов А.Н. (каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены условия эксплуатации и причины разрушения лопаток турбокомпрессора газотурбинного двигателя вертолета модели ВК-2500.

Ключевые слова: условия эксплуатации, лопатки компрессора, лопатки турбины, повреждаемость лопаток, виды разрушений лопаток.

1. Введение

Одной из актуальных проблем, с решением которой связан прогресс современной техники, является проблема качества. Для решения данной проблемы, весомое значение имеет надежность, которая заключается в сохранении качественных характеристик изделия при ее эксплуатации.

Газотурбинные двигатели занимают монопольное положение в качестве двигателей современных самолетов и вертолетов. Основной тенденцией развития в авиа- и двигателестроении является увеличение удельных параметров рабочего процесса, нагрузок на детали, повышение их рабочих температур. В результате усложняется конструкция двигателя, что затрудняет поддержание высокого уровня надежности [1].

Показатели надежности определяются выносливостью наиболее ответственных и нагруженных деталей, испытывающих в процессе работы значительные знакопеременные и циклические нагрузки. К таким деталям относятся лопатки компрессора и турбины, геометрическая форма которых в процессе эксплуатации претерпевает значительных изменений [2,3].

Целью данной работы является исследование основных особенностей эксплуатационных воздействий на лопатки компрессора и турбины.

2. Основная часть

Лопатки газотурбинных двигателей являются деталями со сложной геометрической пространственной формой. В процессе эксплуатации на них воздействует целый ряд негативных факторов, что неизбежно ведет к интенсивному износу и короткому, по сравнению с другими деталями двигателя, ресурсу.

Ресурс работы лопаток для двигателей гражданской авиации находится в пределах 10 000...20 000 ч, а для военной авиации – 500...1000 ч. Следует отметить, что лопатки турбокомпрессора работают в условиях высоких температур газа, достигающих для турбин 1200°C, для компрессора - 600°C [4].

Долговечность лопаток компрессора и турбины во многом определяется их тепловым состоянием и уровнем действующих нагрузок и напряжений. При изменении режимов работы двигателя, скорости и высоты полета вертолета условия теплового и механического нагружения лопаток существенно изменяются [4]. Нагрузки и вызываемые ими напряжения в пере лопаток, которые в ходе работы они претерпевают, представим в виде схемы (Рис. 1). Для лопаток первых ступеней компрессора и лопаток последних ступеней турбины наибольшее значение имеют напряжения растяжения от действия центробежных сил.

**ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ.
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Лопатки газотурбинного двигателя работают в условиях сложного нагружения, когда на них одновременно воздействует несколько нагрузок, например изгиб и кручение, растяжение и изгиб, и т.п.

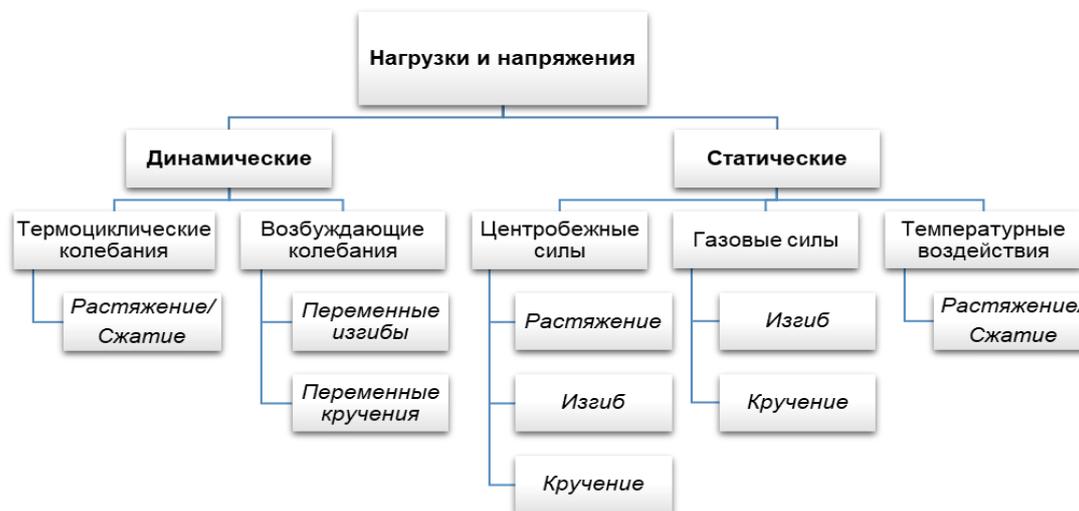


Рис. 1. Нагрузки и напряжения, действующие на лопатки турбокомпрессора

В результате эксплуатации на лопатки турбины и компрессора воздействует множество факторов, обусловленных особенностями влияния среды, в которой эксплуатируется двигатель (попадание сторонних предметов, коррозия, фреттинг-коррозия, обледенение, эрозия, износ и др.) [5, 6].

В ходе проведения работы по анализу повреждаемости лопаток и выявлению факторов, оказывающих негативное влияние на характеристики двигателя, были установлены наиболее распространенные повреждения лопаток ГТД, приведенные на рисунке 2.

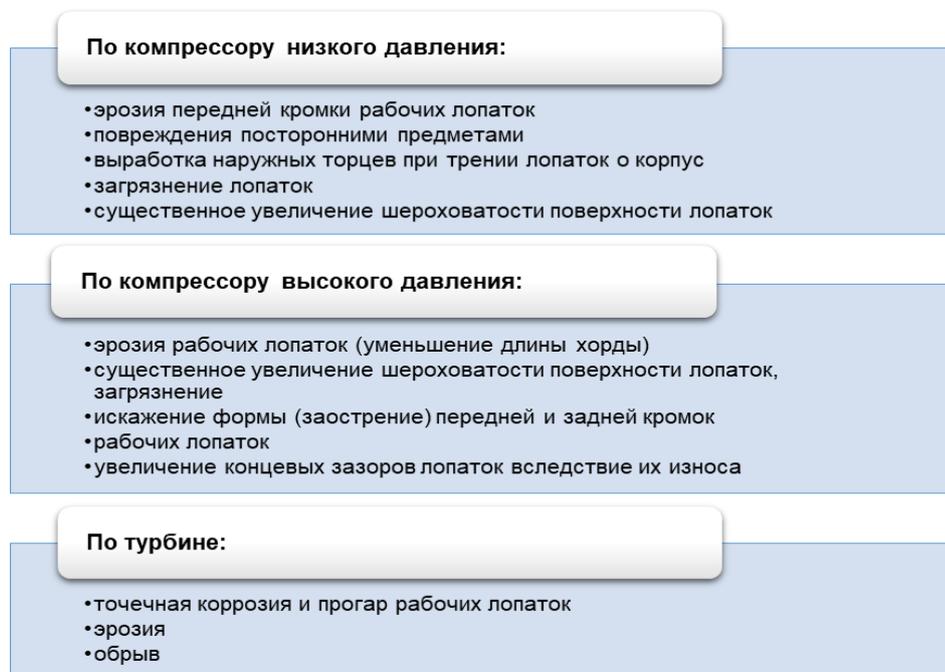


Рис. 2. Характерные повреждения лопаток компрессора и турбины

Наибольшее число повреждений лопаток компрессора связано с попаданием в двигатель посторонних предметов. Крупные предметы, например, птицы, камни, крупный град являются источниками образования локальных забоин и вмятин; способствуют деформации и полному разрушению лопаток с последующими вторичными разрушениями элементов по всему тракту двигателя. У большинства лопаток посторонние предметы повреждают передние кромки [5].

В виду сложных условий эксплуатации вертолетных двигателей (взлеты и посадки с использованием неподготовленных взлетно-посадочных площадок, длительная работа вблизи земной поверхности) лопатки турбокомпрессора подвержены эрозионному износу. При висении вертолета концентрация пыли около земли достигает 2-3 г/м³, а вблизи входов в двигатель около 0,2...0,3 г/м³, при этом в воздух поднимаются достаточно крупные частицы – 200...400 мкм [1]. Следует принять во внимание минералогический состав пыли, так как содержание в ней твердых частиц, существенно увеличивает износ лопаток.

Износ лопаток первых ступеней компрессора происходит по всей высоте вследствие равномерного распределения потока пыли. Лопатки последних ступеней имеют ярко выраженный износ по периферии, что объясняется центрифугированием потока пыли в ступенях. Действие центробежных сил на частицы пыли приводит к концентрации ее на периферии, и лопатки последних ступеней, являющиеся более тонкими, оказываются наиболее изнашиваемыми деталями ГТД. Износ деталей проточной части компрессора может послужить причиной помпажа.

Лопатки турбины также подвержены эрозионному износу, в основном истираются выходные кромки лопаток сопловых аппаратов, что приводит к увеличению температурного режима и уменьшению максимальной мощности двигателя.

В ходе эксплуатации вертолетных двигателей практически всегда возникают условия, при которых лопатки турбины и компрессора подвергаются различным видам коррозии. Основными видами коррозии, по которым производится отбраковка лопаток ГТД, являются: питтинговая, фреттинг-коррозия, сульфидно-оксидная коррозия, высокотемпературная коррозия и др.

Коррозия лопаток ГТД появляется в среде топлив и смазочных материалов. Наиболее часто встречающимися и опасными являются коррозионные повреждения лопаток турбин.

В результате работы газотурбинных двигателей с использованием низкосортных видов топлива, а также повышенной начальной температуры газов в турбине привело к развитию сульфидно-оксидной коррозии лопаток турбин. В состав природного газа, используемого как топливо, входит сера в виде сероводорода и меркаптановых соединений в большом количестве. Кроме этого, газ может быть загрязнен газовым конденсатом, в состав которого входят соединения серы и щелочных металлов [7].

Соединения, вызывающие сульфидно-оксидную коррозию или способствующие ее проявлению, попадают не только в результате сгорания топлива, а и вместе с воздухом в компрессор, камеру сгорания и турбину. Слой продуктов коррозии на лопатках относительно неравномерный, образует шероховатую корку. Как следствие, в местах наибольшей скорости коррозии наблюдается изменение профиля лопаток – «разъедание» их краев.

Анализ отказов двигателей показал, что сульфидно-оксидной коррозии лопаток подвержены вертолеты, эксплуатирующиеся на приморских аэродромах с высокой концентрацией солей в воздухе. Коррозионное повреждение лопаток снижает предел выносливости их материала на 10-30% [1].

На рисунке 3 приведено распределение отказов лопаток авиационных ГТД по этапам выполнения полета. Из всех отказов 17% приходится на отказы при работе двигателя около земли (запуск, руление, взлет) и 83% - на отказы при работе в воздухе, при этом 47% отказов происходит при работе на повышенных режимах. Такое распределение говорит о существенном влиянии запусков и повышенных режимов работы на долговечность лопаток турбокомпрессора [6].



Рис. 3. Распределение отказов лопаток ГТД по этапам полета

3. Вывод

Таким образом, поддержание эксплуатационной надежности газотурбинного двигателя на достаточно высоком уровне путем своевременного выявления неисправностей и предупреждение отказов, является основным условием обеспечения безопасности полетов.

Анализ эксплуатации показал, что в авиационном двигателе по мере выработки ресурса неизбежно накапливаются повреждения, интенсивность развития которых зависит в большей степени от окружающей среды и технологической наследственности. Повреждения, постепенно накапливаясь, достигают критического состояния и как результат приводят к частичному или полному отказу узла, агрегата и двигателя в целом.

Список литературы: 1. Елисеев Ю.С. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, К.А. Малиновский, В.Г. Попов. – М.: Высшая школа, 2002. – 355 с. 2. Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть 1. ОАО "Мотор Сич", 2003. - 420 с. 3. Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки турбины. Часть 2. ОАО "Мотор Сич", 2003. - 396 с. 4. Машошин О.Ф. Рабочие лопатки авиационных ГТД: конструкция, прочность, эксплуатация. Учебное пособие для обучающихся. / О.Ф. Машошин, Б.А. Чичков. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 80 с. 5. Кеба И.В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей – М.: Транспорт, 1980 – 248 с. 6. Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Часть I. Эксплуатационная повреждаемость рабочих лопаток. / Б.А. Чичков. / Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2000. – 74 с. 7. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. – Л.: Машиностроение, 1987. – 272 с.

УДК 621.9.23

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ
СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО
КРУГА**

Водясов К. Н., студент гр. МРСм-19 (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк)
Тел./Факс: +38 (066) 3086754; E-mail: msmo@fimm.dgtu.donetsk.ua

***Аннотация.** В статье рассмотрена конструкция устройства для контроля состояния рабочей поверхности алмазного шлифовального круга. Описана конструктивная и электрическая схема устройства, а так же их принцип действия.*

***Ключевые слова:** профилографирование, алмазный круг, схема, рабочая поверхность круга.*

Введение. Шлифование алмазным кругом является довольно сложным и дорогостоящим процессом, требующим грамотного обращения с алмазным инструментом и понимания природы износа шлифовальных кругов. Для предотвращения преждевременного разрушения режущей поверхности алмазного круга необходимы сведения о геометрических характеристиках рабочей поверхности, интенсивности износа абразива и связки, отклонения геометрии круга [1].

Одним из методов определяющим параметры состояния рабочей поверхности круга является метод профилографирования. Этот метод является разновидностью микрометрического метода измерения износа.

При небольшом времени работы алмазного круга на профилографе измеряется величина, так называемого «первичного износа» – за который принимается разница в высоте микронеровностей от линии впадин до гребешка – замеренную на одном и том же участке в различные моменты испытания. Для измерения износа методом профилографирования используют профилограф-профилометры.

Данный метод заключается в следующем. С одного и того же микроучастка исследуемой поверхности снимаются профилограммы до начала испытания и после.

На профилограммах контуры одних и тех же впадин остаются постоянными, а выступы, вследствие износа, меняют свою высоту. Определяя общее уменьшение выступов от линии впадин, получаем величину первичного износа. В случае, если она превышает высоту неровностей в качестве постоянной базы, от которой производится измерение, выбирается нерабочий участок исследуемой поверхности.

Недостатком метода является невозможность снятия профилограммы до и после испытания с одного и того же сечения, что приводит к появлению погрешности в определении величины линейного износа. Эта погрешность тем больше, чем меньше сама величина износа по сравнению с величиной неровностей поверхности [2].

Основное содержание работы. Исследование положения алмазных зерен РПК проводят на измерительном комплексе, который позволяет регистрировать рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке методом профилографирования с последующей регистрацией данных на ПЭВМ. Измерительный комплекс включает устройство для закрепления шлифовального круга с узлом его вращения, комплект приборов профилометра-профилографа (устройство для профилографирования и блок

усиления), компьютер, оборудован преобразователем аналогового сигнала в дискретный, и дисплей (Рис. 1) и позволяет регистрировать рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке с выделением рельефа зерен и связки. принципиальная схема комплекса представлена на рисунке 2.

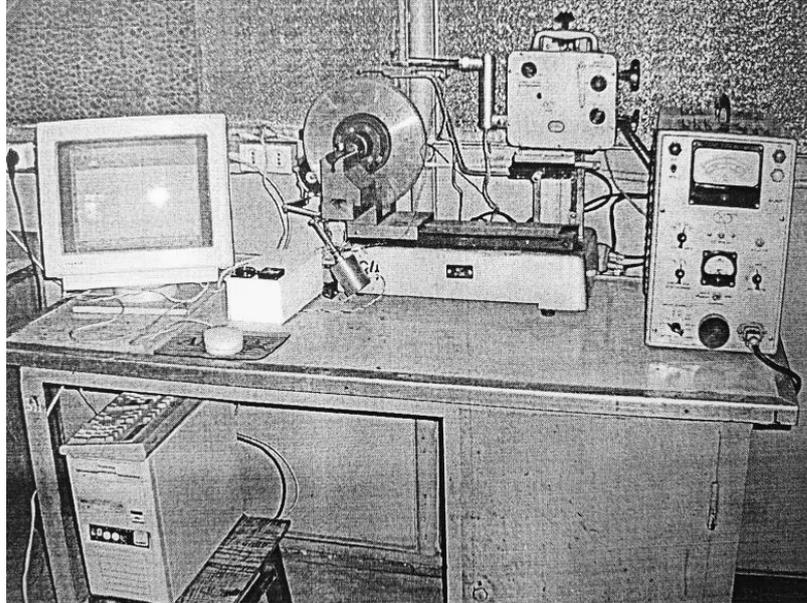


Рис. 1. Общий вид комплекса для регистрации рельефа режущей поверхности алмазного круга на металлической связке

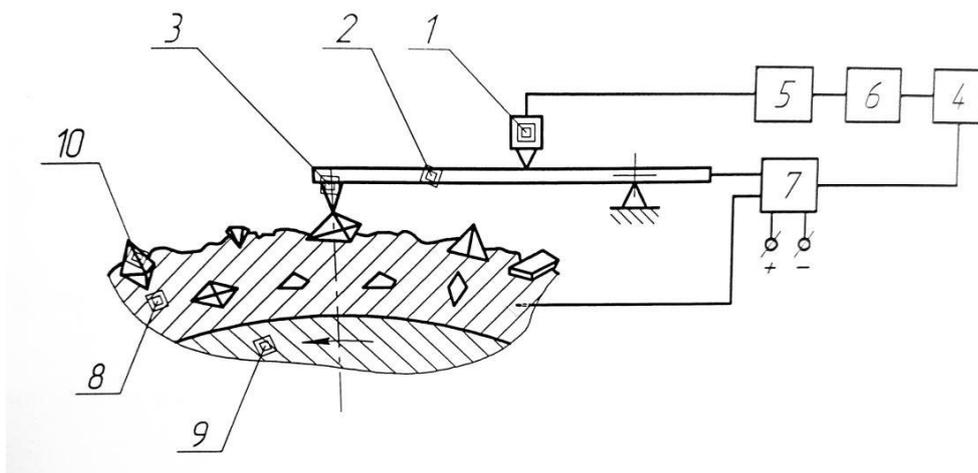


Рис. 2. Схема устройства для регистрации рельефа режущей поверхности алмазных кругов на металлической связке

Измерительный комплекс работает следующим образом. При вращении круга 9 ощупывающая игла 3 огибает профиль рабочей поверхности круга, осуществляя колебания коромыслом 2 относительно оси качания. Эти колебания воспринимаются датчи-

ком 1, сигнал от которого поступает на входной порт компьютера 4 через блок согласования и преобразователь 6 непрерывного электрического сигнала в дискретный.

Когда ощупывающая игла 3 находится на алмазном зерне 10, сигнал от датчика поступает на блок согласования 5, где он уменьшается до уровня в 5 В, затем он попадает в преобразователь 6, в котором непрерывный электрический сигнал от датчика превращается в дискретный, а затем на порт компьютера 4. Одновременно на этот же порт поступает сигнал от ключевого элемента 7, который придает сигнала соответствующий алмазному зерну код «1». На дисплее компьютера отображается рельеф алмазного зерна соответствующим цветом или толстой линией (рис. 3).

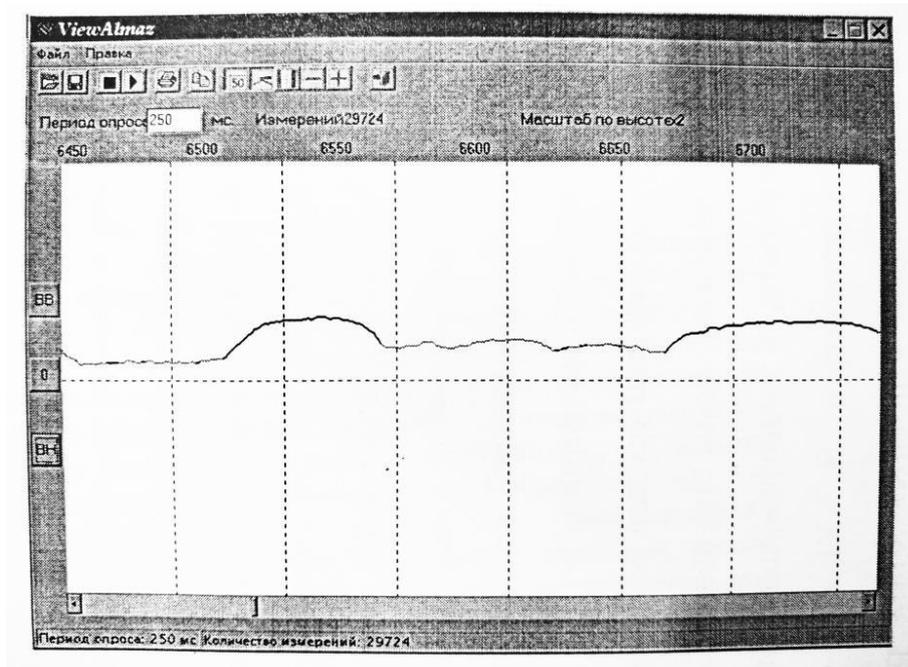


Рис. 3. Окно программы для регистрации параметров РПК с фрагментом профилограммы рельефа алмазных зерен (жирная линия) и рельефа связки (тонкая линия)

При сходе ощупывающей иглы 3 из зерна 10 она попадает на токопроводящую связку 8 и сигнал от датчика продолжает поступать на порт компьютеру через блок согласования 5 и преобразователь 6 непрерывного электрического сигнала в дискретный. В это же время на порт компьютера через ключевой элемент 7 поступает сигнал, соответствующий металлической связке с кодом «0».

На дисплее компьютера отображается рельеф металлической связки соответствующим цветом или тонкой линией (см. рис. 3).

Таким образом, профилограмма содержит информацию о параметрах РПК.

Для преобразования аналоговых сигналов величиной 0 ... + 5 В в цифровые коды для записи в ПЭВМ используется многофункциональное устройство NVL08. Выходной дифференциальный сигнал электронного блока профилографа величиной несколько вольт имеет уровень относительно земли около 140 ... 170 В. Для согласования его с входом NVL08 был изготовлен устройство, схема которого показана на рис.4.

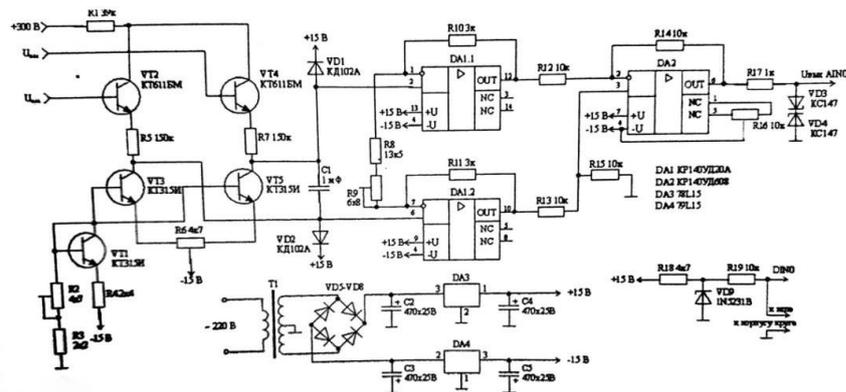


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема согласующего устройства

На транзисторах VT1 - VT5 собрана схема, снижает входное напряжение. Транзисторы VT3, VT4, базы которых подключаются к выходам электронного блока профилографа, служат повторителями напряжения, не безобразят работу электронного блока (входной ток составляет десятки микроампер). Транзистор VT1 с резисторами R2 и R4 служит для задания токов транзисторов VT3 и VT5. Эти транзисторы работают в режиме источников тока и обеспечивают совместно с резисторами R5 и R7 смещение синфазного сигнала от высокого (140 ... 170 В) до примерно нулевого уровня с небольшим уменьшением полезного (дифференциального) сигнала. Резистор R6 служит для установки нуля на выходе схемы. На операционных усилителях DA1.1, DA1.2, DA2 реализуется вычитание сигналов преобразования дифференциального сигнала в заземленный сигнал требуемой величины (Регулирование осуществляется резистором R9). Для ограничения сигнала на входах DA1.1 и DA1.2 установлены диоды VD1 и VD2. Резистор R17 и стабилитроны VD3 и VD4 служат для ограничения напряжения на входе NVL08 к пяти вольт. Устройство на элементах R18, R19 и VD9 выдает сигнал, равный единицы, когда игла находится на алмазе, и равен нулю, когда игла касается связки.

Для управления запуском аналого-цифрового преобразователя (АЦП) устройства NVL08 и предварительной обработки результатов измерений разработано программное обеспечение, позволяющее проводить запуск АЦП через заданные промежутки времени и запоминать результаты измерений высоты алмазных зерен и связки вдоль линии исследования.

Заключение. Изготовленное устройство для автоматизации записи параметров рабочей поверхности алмазного круга к ПЭВМ позволяет кардинально снизить трудоемкость исследований параметров РПК.

Рельеф РПК оценивали следующими параметрами: разновысотностью зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстоянием между зернами на рабочей поверхности круга и величиной выступания зерен из связки.

Список литературы: 1. Определение износа режущей поверхности алмазного шлифовального круга путем исследования его 3D топографии / Е. А. Бабенко, В.А. Фадеев, В. А. Федорович, Ф. Фидлер. – Харьков, Магдебург, 2011. - С.7.
2. Метод профилографирования: сайт. – URL: https://studopedia.su/14_63747_metod-profilografirovaniya.html (дата обращения: 13.07.2020). – Текст: электронный.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙЧАТЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЗАДАЧ

Гайдарь О.Г., Ростовский Б. С. (каф. НГ и ИГ, ДонНТУ, г. Донецк.)

Аннотация: В работе предложено реализовать решение конструктивных задач компьютерными методами. Для этого проведена классификация конструктивных задач в зависимости от размерности, характера связей, количества решений и способа решения.

Ключевые слова: конструктивные задачи, классификация, параметризация, структурирование, линейчатые задачи.

Конструктивные задачи, наверное, самые древние в истории геометрии. Геометрическими построениями занимались почти все крупные древнегреческие геометры: Пифагор и его ученики, Гиппократ, Евклид, Архимед, Апполоний, Папп и многие другие. Много внимания уделяли конструктивным задачам творцы современной математики: Декарт, Ферма, Ньютон, Паскаль, Эйлер, Гаусс. В XVII-XIX веках разработана теория геометрических построений с помощью различных инструментов, отличных от принятых древними. Датчанин Мор (1672), итальянец Маскерони (1797), француз Понселёж (1813), швейцарец Штейнер (1833), немец Адлер изучали построения, выполнимые циркулем и линейкой, и обнаружили, что циркуль позволяет решить всякую конструктивную задачу, разрешимую циркулем и линейкой и наоборот – только с помощью линейки можно решить всякую циркульную задачу [1]. С конца XIX и по конец XX веков теория геометрических построений сформировалась в обширную и глубоко развитую область математики, связанную с решением разнообразных принципиальных вопросов, уходящих в другие ветви математики.

В XXI веке отношение к конструктивным задачам стало неоднозначным. Многие считают их неинтересными, ненужными и даже надуманными. И в самом деле, где и зачем может понадобиться умение с помощью циркуля и линейки построить правильный многоугольник. С помощью компьютера это можно сделать быстрее, точнее и особенно не напрягаясь [2]. Тем не менее, есть и другая точка зрения. Во-первых, отмечается роль умения решать конструктивные задачи на построения для педагогического и психологического аспектов развития личностных компетенций математиков и инженеров [3]. Во-вторых, Д.В. Волошинов выдвинул идею «создания программных инструментов, которые эмулируют конструктивный геометрический метод» [4]. Эта очевидная и в тоже время неожиданная идея о создании инструментария для геометрического эксперимента вызвала у нас живой интерес и желание рассмотреть конструктивные задачи с точки зрения их программной реализации. Для этого необходимо начать с формализации постановки задачи, классификации и структурирования [5].

Будем называть конструктивной задачей следующего содержания: *Даны фигуры $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$. Построить фигуру Φ , связанную с фигурами $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ определенными условиями.* Такими условиями могут быть равноудаленность, равнонаклонность, расположение на заданном расстоянии или под заданным углом. Конкретным примером конструктивной задачи может быть следующая: *Даны плоскость Σ , точки A и B , прямые l и m . Построить плоскость Γ под углом α к плоскости Σ , равноудаленную от точек A, B , прямых l и m .*

В зависимости от размерности искомой фигуры конструктивные задачи разделяются на: **точечные** (искомая фигура – точка), **линейчатые** (искомая фигура – прямая линия), **плоскостные** (искомая фигура – плоскость).

В зависимости от характера связей искомой фигуры с заданными фигурами, конструктивные задачи делятся на **параметрические** и **функциональные**.

Параметрическими называются задачи, в которых искомая фигура связана с заданными фигурами определенными расстояниями или углами. Например: *даны прямые a, b, c, d . Построить прямую l на расстояниях r_1, r_2 от прямых a, b и под углами α, β к прямым c, d* . Параметрические задачи разделяются по характеру параметров на: **лонгометрические** и **гонометрические**. Лонгометрической называется задача, в которой в качестве связи выступает заданное расстояние (например, в предыдущей задаче – расстояния r_1, r_2). Гонометрической называется задача, в которой в качестве связи выступают заданные углы (например, в предыдущей задаче – углы α и β).

Функциональными называются задачи, в которых искомая фигура связана с заданными фигурами равноудаленностью, или равнонаклонностью. Например: *Даны точки A, B, C и плоскости Σ и Γ . Построить прямую l , равноудаленную от точек A, B, C и равнонаклонную к плоскостям Σ и Γ* . Функциональные задачи разделяются по характеру связи на: **эквилонгальные** и **эквигональные**. Эквилонгальной называется задача, в которой в качестве связи выступает равноудаленность. Эквигональной называется задача, в которой в качестве связи выступает равнонаклонность.

Возможны и смешанные задачи – **функционально-параметрические**.

В зависимости от количества решений конструктивные задачи разделяются на **неопределенные, определенные, переопределенные**.

Неопределенной называется задача, в которой искомой фигуре-точке, или прямой, или плоскости удовлетворяет множество таких фигур. Например, задача *Даны три скрещивающиеся прямые a, b, c . Построить прямую d , пересекающую заданные* является неопределенной, так как искомым прямым можно построить множество, которое представляет собой однополостный гиперболоид.

Определенной называется задача, которая имеет конечное число решений. Так, задача *Даны четыре скрещивающиеся прямые a, b, c, d . Построить прямую e , пересекающую заданные* является определенной, так как число решений является конечным.

Переопределенной называется задача, которая не может иметь решений. Речь идет не об отсутствии решения при определенных расположениях заданных фигур, а о принципиальной невозможности решения. Например, в предыдущей задаче возможны от 0 до 8 вариантов решений. Если же назначить пять скрещивающихся прямых, то построить шестую прямую, пересекающую заданные пять, невозможно. Задача эта переопределена. В ней один параметр (пятая прямая) лишний. Он исключает возможность решения задачи в принципе.

Как же установить по условию задачи, не зная ее решения, переопределена ли она, или определена, или неопределенна? Ответ на этот вопрос дает теория параметризации. Множество точек трехмерного пространства является трехпараметрическим. Следовательно, нужно назначить три параметра, чтобы выделить конкретную точку этого множества. Множество прямых представляет собой четырех параметрическое множество. Поэтому нужно задать четыре параметра, чтобы выделить конкретную прямую. Множество плоскостей является трехпараметрическим. Следовательно, необходимо назначить три параметра, чтобы выделить конкретную плоскость.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Если в задаче искомой фигурой является точка, в условии задачи должны быть заданы три параметра. Последние могут быть или расстояниями, или равноудаленностью, либо сочетаниями этих параметров. Следует отметить, что когда речь идет о равноудаленности, то равные расстояния от двух геометрических фигур надо принимать за один параметр. Иными

словами, если в задаче необходимо построить точку на заданных расстояниях от точек, то следует назначить три точки; если же необходимо построить точку, равноудаленную от точек, то необходимо задать четыре точки. Это утверждение относится и к линейчатым и плоскостным задачам. Если искомой фигурой является прямая, в условии задачи должны быть заданы четыре параметра. Последние могут быть или расстояниями, или углами, или равноудаленностью, или равнонаклонностью, или сочетаниями этих параметров. При задании трех параметров задача будет неопределенной, пяти – переопределенной. Если искомой фигурой является плоскость, в условии задачи должны быть три параметра. Они могут быть расстояниями, или углами, или равноудаленностью, или равнонаклонностью, либо сочетаниями этих параметров. При задании двух параметров задача будет неопределенной, четырех – переопределенной.

Все конструктивные задачи с точки зрения точности построения разделяются на **циркульные** и **нециркульные**. К циркульным относятся задачи, в которых решение сводится к построению прямых и окружностей. К ним относятся задачи 1-й и 2-й степени. Степенью задачи называется степень уравнения, к которому сводится аналитическое решение задачи. Если в такой задаче возникает необходимость построения эллипса, гиперболы, параболы, то чертеж необходимо преобразовать коллинейно так, чтобы упомянутые кривые преобразовались в окружность. Прямая же при коллинейных преобразованиях преобразуется снова в прямую. Исключения составляют задачи, в которых возникает необходимость в построении двух кривых второго порядка, не связанных между собой ни общими фокусами (либо фокусом, если это параболы, что чаще и бывает), ни директориальной линией. Например, если в плоскости есть окружность и эллипс, то, преобразуя чертеж так, чтобы эллипс оказался окружностью, мы преобразуем и окружность в эллипс. Поэтому такая задача, хотя и является задачей второй степени, она все же относится к нециркульным. К нециркульным относятся задачи 3-й и выше степеней. Для их решения возникает необходимость построения лекальных кривых или сплайнов. Решение таких задач является приближенным. Точность решения зависит от точности построения кривой (количества взятых точек). Построение последней можно выполнить с наперед заданной точностью, следовательно, и решение задачи можно осуществить с требуемой точностью.

Список литературы: 1. Аргунов Б. И., Балк М. Б. Геометрические построения на плоскости. Пособие для студентов педагогических институтов – М.: Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР – 1957. 2. Хейфец А.Л. Геометрическая точность компьютерных алгоритмов конструктивных задач // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: материалы V Междунар. науч.-практ. интернет-конф. - Пермь, 2016. - С. 367-387. 3. Волошинов Д.В., Соломонов К.Н. Конструктивное геометрическое моделирование как перспектива преподавания графических дисциплин // Геометрия и графика. - 2013. - Т. 1, вып. 2. - С. 182-185. 4. Волошинов Д.В. О перспективах развития геометрии и ее инструментария. // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе. - Пермь: 2014. - С. 47-60. 5. Гайдарь О.Г., Пастернак Д.Н. Классификация и структурирование линейчатых конструктивных задач применительно к компьютерному моделированию. // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Выпуск 4. Пермь, 2017. С 203-210.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА И СЖАТОГО ЭЛЛИпсоИДА ВРАЩЕНИЯ

Катькалова Е.А. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)
Яблоков В.В. (ст. гр. КИТ-19, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация – в статье рассмотрено построение линии пересечения конуса и сжатого эллипсоида вращения, имеющих вертикальные и параллельные оси вращения.

Ключевые слова: конус, сжатый эллипсоид вращения, линия пересечения, плоскость симметрии, парабола

В статьях [1, 2] рассматривалось пересечение кривых поверхностей вращения второго порядка с общей плоскостью симметрии, внимание уделено случаям, в которых оси тел вращения поверхностей второго порядка пересекаются. В этом случае линии пересечения проецировались в гиперболы или параболы.

В приведенной статье рассмотрим пример, в котором поверхности вращения имеют параллельные оси вращения и общую плоскость симметрии.

Две алгебраические поверхности второго порядка, имеющие общую плоскость симметрии, пересекаются по кривой четвертого порядка, которая проецируется на плоскость, параллельную этой общей плоскости симметрии, в виде кривой второго порядка, действительной или распавшейся. Для упрощения и уточнения построений проекций такой кривой желательно знать вид кривой и ее элементы.

Для нахождения линии пересечения в таких случаях могут быть применены сферы как поверхности-посредники.

На рис. 1 показано построение линии пересечения сжатого эллипсоида вращения и конусом вращения. Оси поверхностей параллельны и вертикальны.

Очерковый эллипс эллипсоида вращения имеет параметры $b=40$ мм, $c=40$ мм,

$$a = \sqrt{b^2 + c^2} \cong 56,57 \text{ мм}.$$

Конус вращения имеет диаметр основания 100 мм и высоту 165 м. Если оси вращения данных тел совпадают, то на плоскость проекций, параллельной общей плоскости симметрии, линии пересечения данных тел будут проецироваться в виде двух параллельных прямых. Если оси вращения располагаются на каком-то расстоянии – линия пересечения проецируется в виде параболы [1]. На рисунке 1 оси вращения располагаются на расстоянии 15 мм друг от друга.

Исходные точки 1,2,3,4 это точки пересечения очерков данных тел. Парабола определяется четырьмя точками. Эти точки можно представить как точки пересечения сферы R_1 с конусом. Они так же имеют плоскость симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекции.

Перпендикуляры, проведенные через середины отрезков 1-4 и 2-3, в пересечении дают центр O_1 из которого проводится сфера R_1

Пересечение плоскости экватора сферы R_1 с осью конуса дает центр сфер O_2 , средняя линия для которых (на чертеже эти сферы не показаны), является осью параболы.

Проводим произвольную сферу R_3 через точки 5 и 6 с центром O_3 , лежащим на оси конуса. Эта сфера пересекается с конусом и сферой O_1 по окружностям, которые проецируются в виде прямых линий 5-6 и 7-8. Точка пересечения этих прямых и есть

вершина параболы A_1 . Дискриминант параболы равен 0,5 поэтому расстояние m , отложенное от вершины параболы A_1 дает т. 9. Прямая 3-9 есть касательная к параболе в т. 3. С помощью подэры параболы относительно фокуса находим фокус этой параболы F . Директриса параболы находится на расстоянии A_1F от вершины A_1 .

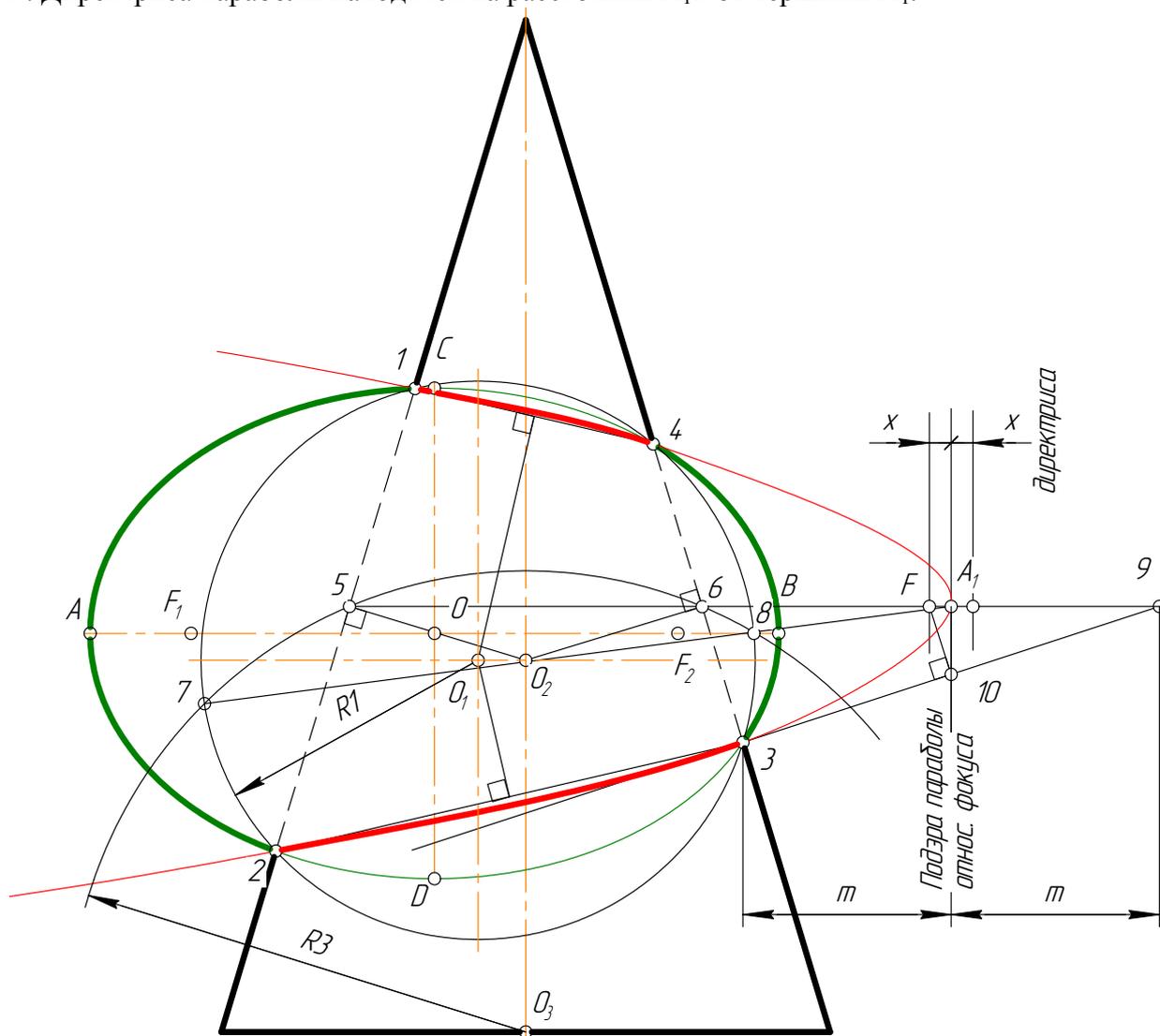


Рис. 1 Пересечение конуса и сжатого эллипсоида вращения

Список литературы : 1. Каткалова Е.А. Построение линии пересечения конуса и цилиндра с пересекающимися осями / Каткалова Е.А., Дятлов А.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 135 – 136. 2. Каткалова Е.А. 2. Построение линии пересечения конуса и цилиндра, ось которого совпадает с образующей конуса/ Каткалова Е.А., Орлов М.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 137 – 138.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА И СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ

Катькалова Е.А. Корецкая И.Н. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)
Ракович Р. В. (ст. гр. ГПМ -19, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация – в статье рассмотрено построение линии пересечения сжатого и растянутого эллипсоида вращения, имеющих вертикальные и параллельные оси вращения.

Ключевые слова: сжатый эллипсоид вращения, линия пересечения, плоскость симметрии, парабола

Несмотря на большое количество программ, которые позволяют избежать кропотливых и трудоемких построений, пользователь должен знать, каков ожидаемый результат. В противном случае, на выходе можно получить совершенно другое решение, не имеющее ничего общего с действительным. Поэтому мы хотим обратить внимание еще раз на геометрический анализ проекций линий взаимного пересечения простых поверхностей вращения с общей плоскостью симметрии в различных сочетаниях, который поможет студентам добиваться более точных результатов решения задач начертательной геометрии. Такой анализ был проведен Глазуновым Е.А. в 50-е годы прошлого столетия.

В статьях [1, 2] были приведены случаи, когда пересекались кривые поверхности вращения второго порядка с общей плоскостью симметрии, в частности рассматривался вариант, когда оси тел вращения поверхностей второго порядка пересекаются. При этом линии пересечения проецировались в гиперболы или параболы.

В этой статье рассмотрим случай, в котором поверхности вращения имеют параллельные оси вращения и общую плоскость симметрии.

Две алгебраические поверхности второго порядка, имеющие общую плоскость симметрии, пересекаются по кривой четвертого порядка, которая проецируется на плоскость, параллельную этой общей плоскости симметрии, в виде кривой второго порядка, действительной или распавшейся.

Для упрощения и уточнения построений проекций такой кривой желательно знать вид кривой и ее элементы.

Для нахождения линии пересечения в таких случаях могут быть применены сферы как поверхности-посредники.

Приведем пример пересечения двух эллипсоидов вращения – сжатого и растянутого. На рисунке 1 оси вращения располагаются на расстоянии 20 мм друг от друга.

На рисунке 2 показано построение линии пересечения этих эллипсоидов. Исходные точки 1,2,3,4 есть точки

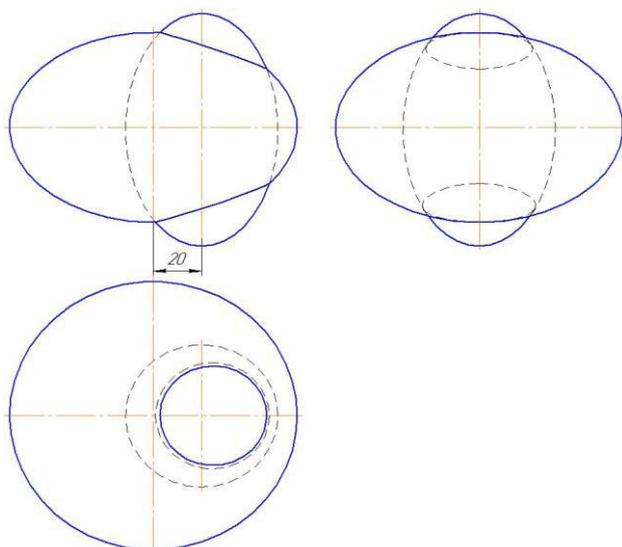


Рис. 1. Сжатый и растянутый эллипсоиды вращения

пересечения очерков эллипсоидов. Парабола определяется четырьмя не коллинеарными точками. Эти точки можно представить как точки пересечения сферы с эллипсоидом вращения. Они так же имеют плоскости симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекции.

Перпендикуляры, проведенные через середины отрезков 1-4 и 2-3, в пересечении дают центр O_1 из которого проводится сфера R_1 . Ось параболы лежит в экваториальной плоскости эллипсоидов вращения и перпендикулярна к Π_3 . Для определения вершины параболы проводим произвольную сферу R_2 через т. C_2 и D_2 с центром на оси вращения растянутого эллипсоида. Эта сфера пересекается с растянутым эллипсоидом и сферой R_1 по окружностям, которые проецируются в виде прямых C_2D_2 и 5-6. Точка пересечения этих прямых и есть вершина параболы A_n . Дискриминант параболы равен 0,5 поэтому расстояние m , отложенное от вершины параболы A_n дает т. N . Прямая $4N$ есть касательная к параболе в т. 4. С помощью подэры параболы относительно ее фокуса находим фокус этой параболы т. F_n . Директриса параболы находится на расстоянии A_nF_n от вершины A_n .

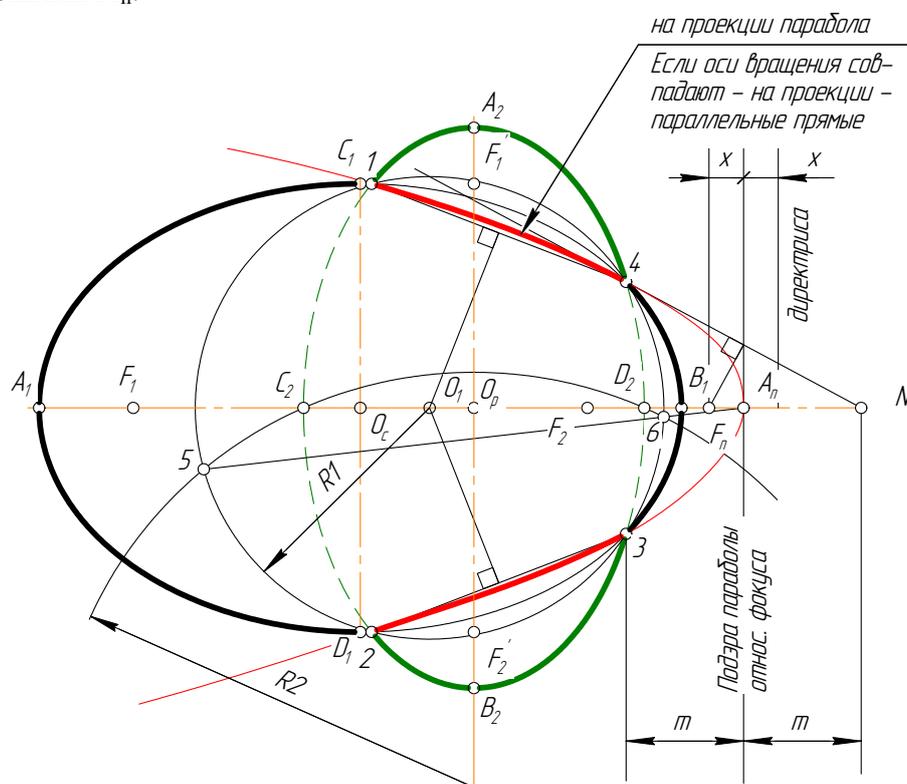


Рис. 2. Пересечение сжатого и растянутого эллипсоидов вращения

Список литературы : 1. Каткалова Е.А. Построение линии пересечения конуса и цилиндра с пересекающимися осями / Каткалова Е.А., Дятлов А.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 135 – 136. 2. Каткалова Е.А. 2. Построение линии пересечения конуса и цилиндра, ось которого совпадает с образующей конуса/ Каткалова Е.А., Орлов М.// ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк : ДонНТУ, 2017, № 1(23)-2(24). - С. 137 – 138.

ПОСТРОЕНИЯ ОДНОЙ ЛИНЕЙКОЙ

Кравченко С., Скорикова А.О., Корецкая И. Н.
(кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация. Рассматриваются геометрические задачи на построение.

Ключевые слова: линейка, прямая, диагональ, отрезок.

Геодезисты в своей работе тесно связаны с геометрическими построениями и измерениями, причем в практике геодезических работ приходится пользоваться почти исключительно проведением прямых линий.

В связи с этим внимание математиков еще в XVII в. было привлечено к изучению геометрических построений, производимых исключительно линейкой. Такого рода построения рассматривал Мор (в недошедшей до нас книге «Euclides curiosus», о которой упоминается в переписке некоторых математиков того времени). Ряд задач на построение линейкой рассматривали: Ламберт (в 1774 г.), Брианшон (1783—1864), написавший книгу «Приложения теории трансверселей» (в 1818 г.), предназначенную для лиц, занимающихся землемерными работами, Понселё (1788—1867) в связи с его исследованиями по проективной геометрии.

Наиболее полные исследования в этой области произведены швейцарским геометром Я. Штейнером (1796—1863), который изложил их в известном сочинении «Геометрические построения, производимые с помощью прямой линии и неподвижного круга» (1833).

Как уже отмечалось, пользуясь только линейкой, можно решить очень ограниченный круг геометрических задач на построение. Нельзя, например, пользуясь исключительно линейкой, разделить отрезок пополам или провести параллель к данной прямой. Однако эти и многие другие задачи могут оказаться разрешимыми исключительно линейкой, если на плоскости дана некоторая вспомогательная фигура. Рассмотрим некоторые построения такого рода. Нам понадобится одно вспомогательное предложение («лемма о трапеции»): *Прямая, соединяющая точку пересечения диагоналей трапеции с точкой пересечения продолженных ее боковых сторон, делит оба основания трапеции пополам.* Доказательство этого предложения мы предоставляем.

Решим несколько задач, пользуясь исключительно линейкой.

Задача 1. Даны две параллельные прямые a и b и на одной из них, например a , отрезок AB . Построить середину этого отрезка.

Изберем произвольную точку P , лежащую вне полосы, ограниченной заданными прямыми (рис. 1). Проведем прямые PA и PB и отметим точки D и C их пересечения с прямой b . Пусть O —точка пересечения прямых AC и BD . Тогда, согласно предыдущей лемме, прямая PO пересечет отрезок AB в его середине M .

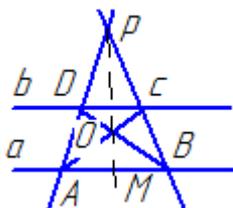


Рис. 1- Пример построений для задачи 1 и задачи 2

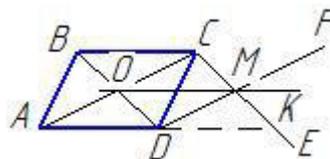


Рис. 2 – Построения на примере параллелограмма

Задача 2. Зная середину M данного отрезка AB , провести через данную точку C прямую, параллельную AB .

Изберем на прямой BC , вне отрезка BC , произвольную точку P (рис. 1) и соединим эту точку с точками A и M . Пусть O — точка пересечения прямых PM и AC , D — точка пересечения прямых AP и OB . Тогда прямая CD искомая. Доказательство проводится на основании леммы о трапеции по методу от противного.

Задача 3. Через центр данного параллелограмма провести прямую параллельно его стороне.

Пусть $ABCD$ (рис. 2) — данный параллелограмм, O — его центр. Учтя, что $AO = CO$ и $BO = DO$, можно воспользоваться предыдущей задачей и провести $CE \parallel BD$ и $DF \parallel AC$. Если M — точка пересечения прямых CE и DF , то прямая OM параллельна стороне AD . Для доказательства рассмотрим треугольник ACK , где K — точка пересечения прямых AD и CM . Треугольник DKM равен треугольнику ADO по двум сторонам и углу между ними. А потому $KM = OD = CM$. Следовательно, прямая OM служит средней линией треугольника ACK и поэтому параллельна его основанию.

Оказывается, для решения как угодно сложной геометрической задачи на построение, разрешимой циркулем и линейкой, достаточно «воспользоваться циркулем не более одного раза». Точнее говоря: *Всякая геометрическая задача на построение фигуры, состоящей из конечного числа точек, разрешимая циркулем и линейкой, может быть решена одной линейкой, если на плоскости построена какая-либо окружность и отмечен ее центр* (при этом предполагается, что данная фигура состоит только из конечного числа точек, прямых, лучей, отрезков и дуг окружностей). Это предложение было установлено швейцарским математиком Я. Штейнером в 1833 г. Без доказательства оно было приведено еще в 1822 г. французским геометром Понселё в его «Трактате о проективных свойствах фигур». Поэтому эту теорему называют иногда теоремой Понселё — Штейнера.

Доказательство теоремы Штейнера проводится аналогично тому, как было проведено выше доказательство теоремы Мора—Маскерони.

Изучение конструктивных возможностей линейки продолжалось и после Я. Штейнера. В частности, советский математик Д. Д. Мордухай-Болтовский (1876 - 1951) в 1910 г. доказал, что теорема Штейнера остается в силе, если дана не вся вспомогательная окружность, а как угодно малая ее дуга (и отмечен центр этой окружности).

Выше уже было отмечено, что, пользуясь только линейкой, нельзя построить центр начерченной окружности. При этом предполагалось, что на плоскости нет никаких других построенных фигур. В связи с этим интересно отметить, что если построенные две пересекающиеся (или касающиеся) окружности, то центр каждой из них может быть построен с помощью только линейки.

Список литературы: 1. Люстерник Л.А. Выпуклые фигуры и многогранники. — М.: ГИТТЛ, 1956. 2. Смирнова И.М. В мире многогранников. — М.: Просвещение, 1995, 136с.

ПОДХОД К БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИЕМА-ПЕРЕДАЧИ

Борзов Д.Б., Сизов А.С., Дюбрюкс С.А. (ЮЗГУ, г. Курск, Россия)

Тел./Факс: +79192736700; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: Development of an approach to wireless data transmission with the ability to take into account the movement in space of transmit-receive objects, which provides increased productivity of multiprocessor systems and a decrease in the total value of communication delay.

Keywords: Processor, allocation, wireless transmission, protocol, Wi-Fi

При построении вычислительных систем (ВС) возникает проблема совместимости архитектуры ВС со структурой обрабатываемых задач [3]. Это проявляется в выполнении поставленных задач (программ, файлов, данных и т.д.) для определенного класса алгоритмов и методов ВС. В случае не соответствия друг другу структуры задания и архитектуры системы, происходит минимизация производительности всей ВС.

При построении вычислительных систем используют различные виды топологий, соотносящихся с определенным классом алгоритмов. В случае беспроводной передачи данных необходимо также учитывать особенности выбранного метода размещения задач для достижения максимальной производительности ВС.

Мультипроцессорная система, состоящая из множества процессорных объектов (ПО), представляется неориентированным графом $G=(V,R)$, где V – множество ПО, R – ребра графа [2]. Пример графа системы представлен на рисунке 1.

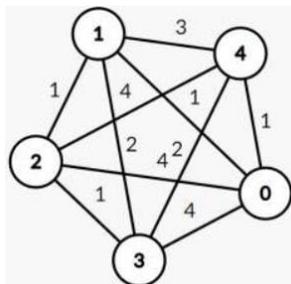


Рис. 1 – Пример графа системы

На рисунке 1 круги обозначают ПО, числа в них – идентификатор ПО, ребра графа показывают связи между ПО, цифры над дугами показывают эквиваленты расстояний между ПО.

Например, система, показанная на рисунке 1, определяется множеством $v=\{1,2,3,4,5\}$, а множество $R=\{1,4,3,1,1,2,3,1,4,2\}$.

Сила сигнала и канал, по которому работает ПО, указующая на предпочтительный ПО, использует показатель коэффициент расстояния (КР) и определяется [3]:

$$КР = F \cdot RSSI, \quad (1)$$

где F – номер, присвоенный каналу, $RSSI$ – значение силы сигнала.

Пусть, например, $R = \{68, 328, 308, 213, 73, 260, 201, 120, 189, 264\}$.

Тогда по данным из V и R получаем матрицу смежности $A_{5 \times 5}$, где элементы a_{ij} – значения множества R :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 63 & 328 & 308 & 213 \\ 63 & 0 & 73 & 260 & 201 \\ 328 & 73 & 0 & 120 & 189 \\ 308 & 260 & 120 & 0 & 264 \\ 213 & 201 & 189 & 264 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Назовем (2) – матрицей расстояний (МР).

Среди множества процессорных модулей выбираем процессорный модуль – мастер. В его функции входит.

- отслеживание изменений в архитектуре ВС;
- распределение вычислительных задач для уменьшения временных затрат;
- опрос внешнего источника (сервера, суперкомпьютера, кластера, базы данных и т.п.) на наличие заданий;
- распределение полученных задач на процессорные модули, включенные в систему в момент времени t .

Задания приходят мастеру в виде массива:

$$\text{Task}[N] = \{\{p_k; v_k\} \dots \{p_k; v_k\}\}, \quad (3)$$

где p_k – связь с другой задачи из массива, k – номер задачи равный $\overline{1, n}$, v_k – объем данных задач.

Например, $\text{Task}[5] = \{\{1;10\}, \{1;15\}, \{3;10\}, \{4;8\}, \{3;5\}\}$. По данному массиву известно, что задачи 1-2 и 3-5 связаны друг с другом, а задача 4 не зависит от других элементов массива.

Массив заданий представляется множествами:

- P мощностью $|P| = N$;
- V с мощностью $|V| = N$.

По массиву $\text{Task}[5]$ получаем:

- $P = \{1, 1, 3, 4, 3\}$,
- $V = \{10, 15, 10, 8, 5\}$.

Множества записываются в виде матрицы V объемов заданий (МОЗ) и P – матрицы связей (МС):

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} 10 & 15 & 10 & 8 & 5 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

МОЗ показывает какой программный модуль является мастером, что определяется по не нулевому столбцу или строке. В (4) мастер – первый ПМ. Так же матрица V показывает первоначальное размещение ПО, а МС определяет связь между

задачами. Если $v_{ij}=1$, то задача с порядковым номером i связана с задачей под номером j .

Для работы динамической мультипроцессорной системы необходимо определить ее конечное состояние и систему критериев.

Пусть конечное состояние системы – это состояние, при котором мастер начинает распределять задачи, обозначенные как $S_t(N)$, где N – количество ПО, t – время ожидания построения системы, которое определяется соотношением $[t_{\min}; t_{\max}]$. Здесь t_{\min} – минимальное время ожидания, t_{\max} – максимальное время ожидания.

ПМ соединяются средствами протокола Fi-Fi. В этом случае на одну точку доступа теоретически можно подключить 254 устройства. Так как предполагается, что все устройства работают в режиме Ad-Нос, то количество устройств не устанавливается, а варьируется от 3 до 254.

Конечное состояние системы – это набор ее свойств, при котором можно начинать размещение и само состояние, записываемое системой:

$$S_t(N) = \begin{cases} t=t_{\text{ук}}, t_{\min} < t_{\text{ук}} < t_{\max} \\ N=N_p, 3 < N_p < 254 \\ A_{N \times N}, a_{ij} \in \text{КР} \end{cases} \quad (5)$$

Для минимизации времени выполнения задания, необходимо сократить время пересылки данных от мастера к ПО, ответственному за выполнение. Тогда скорость передачи данных C зависит от расстояния между источником и приемником:

$$\text{КР} \rightarrow 0 \Rightarrow C \rightarrow C_{\text{раб}} \quad (6)$$

Время передачи данных рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{передачи}} = \frac{V}{C}, \quad (7)$$

где V – объем передаваемых данных, C – скорость передачи данных.

Тогда из (7) следует, что $C \rightarrow C_{\text{раб}}$, $V \rightarrow V_{\min}$. Следовательно, $t_{\text{передачи}} \rightarrow t_{\min}$.

Так как объем данных $\{v_{ij}\}$ – постоянная величина, то уменьшение времени передачи обеспечивается передачей мастером наиболее объемных задач процессорным модулям. При этом КР в матрице расстояний является наименьшим. Это говорит о наибольшей скорости передачи данных. Например, если в (4) мастером является 1 процессорный модуль, то задачу с весом 15, он назначает себе, а задачу с весом 10, можно распределить на 0 и 3 ПО. Таким образом, при распределении задач, мастер может учитывать объемы данных, КР ПМ и связность задач.

По завершению задачи, ПО либо отправит данные инициатору (серверу, базе данных, кластеру и т.п.) задания, либо передаст данные другому ПО, которому для выполнения полученного задания, требуется результат выполнения текущей задачи.

При построении реконфигурируемой вычислительной системы критического назначения необходимо выполнить действия, направленные на составление матрицы расстояний $A_{N \times N}$ и выбор мастера. МР содержит информацию о расстоянии между процессорными модулями, а мастер отвечает за запрос и размещение задач процессорным модулям, входящим в систему на текущий момент времени.

Поэтому мастер выбирается из условий:

$$1) r = \min \left\{ \sum_{i,j=0}^N r_{i,j} \right\}, \text{ где } N - \text{ количество ПМ, } r_{ij} - \text{ значение МР.}$$

2) $r_n = \text{count}(r_{\max})$ – максимум в строке r при выполнении условия $r_M < r_n$.

3) $G_M > G_{\text{ПМ}}$, где G_M – коэффициент усиления антенны мастера, $G_{\text{ПМ}}$ – коэффициент усиления антенны процессорного модуля, претендующего на роль мастера.

Здесь первое условие является необходимым и достаточным, а второе и третье условие используются как дополнительные, если первое условие не выявило мастера.

Таким образом, обобщенный алгоритм выбора мастера состоит из следующих шагов:

1. По каждой строке матрицы расстояний (МР) считается сумма и высчитывается максимум во всей МР.

2. Из полученных сумм выбирается минимальная. Если минимальных сумм несколько, то присутствует несколько претендентов на роль мастера, и в этом случае проверяется следующее условие.

3. Для устройств, где сумма по строке в МР минимальна, считается количество максимумов, найденных на первом шаге после чего данный показатель сравнивается. При этом наименьший максимум показывает мастера. Если же и это не выявило мастера, то выполняется четвертый шаг.

4. Для устройств, у которых минимум максимумов в строке, сравнивается коэффициент усиления антенны. Устройство с самым большим коэффициентом усиления показывает мастера.

Таким образом, методика построения реконфигурируемой критической вычислительной системы состоит из следующих шагов:

1. За время ожидания в системе фиксируется количество активных устройств.

2. Составляется матрица расстояний из КР.

3. Выбирается мастер.

Так как процессорные модули работают в режиме точки доступа, то на первом шаге каждому устройству, подключающемуся к системе, присваивается идентификатор, уникальный в пределах действия мультипроцессорной системы.

На протяжении времени ожидания процессорные модули обмениваются служебными пакетами, содержащими идентификаторы ПМ, коэффициент усиления антенны и массив информации.

В дальнейших исследованиях предполагается разработка метода, алгоритма и специализированного устройства беспроводной передачи данных с учетом возможного перемещения объектов приемо–передачи.

Список литературы: 1. Головкин Б.А. Параллельные вычислительные системы. – М.: Наука, 1980. – 520 с. 2. Оре О. Теория графов. – М.: Наука, 1968. – 352 с. 3. Марчуков, А. В. Беспроводные информационные сети. – Томск : Из-во Томского политех. ун-та, 2009. – 84 с.

ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Горох Г.Г.¹, Шилько С.В.², Лозовенко А.А.¹, Иджи М.М.¹, Рябченко Т.В.², Захлебалева А.И.¹ (БГУИР¹, ГНУ ИММС НАН Беларуси², г. Минск, г. Гомель, Беларусь,)

Тел.: +375 (17) 2938047; E-mail: gorokh@bsuir.by

Abstract: Anodic alumina matrices filled with polyvinylidene fluoride by plasma-chemical deposition were investigated using a scanning electron microscope and a tribological research unit. It was shown that the degree of filling of the pores with the polymer is proportional to the deposition time, and the friction coefficient decreases with increasing thickness of the film on the oxide surface. The polymer-containing composite films have high tribological and mechanical characteristics that can be used as modifying coatings of products subject to corrosion and accelerated wear.

Key words: Nanoporous anodic alumina, Polymer-containing composite, Polyvinylidene fluoride, Friction coefficient

Наноструктурированные пленки и покрытия, обладающие низкоразмерными структурными элементами, характеризуются сверхвысокой прочностью, повышенной износостойкостью, упругостью и пластичностью [1]. Один из основных механизмов упрочнения при уменьшении размеров зерен обусловлен эффектом скопления дислокаций вблизи их границ. Важным преимуществом покрытий с наноразмерной структурой является обусловленная повышенной пластичностью возможность снижения в них остаточных напряжений путем создания пленок микронной и субмикронной толщины [2]. Более глубокое изучение физики упругой деформации наноструктурированных пленок открывает широкие перспективы получения матричных покрытий на изделиях сложной формы. Среди них особое внимание уделяется методам на основе нанопористых слоев анодного оксида алюминия (АОА) [3] с наполнителями из металлоксидных [4], углеродных и фуллереноподобных наноструктур [5]. Ранее проведенные исследования [6] показали зависимость модуля Юнга, коэффициента теплопроводности и других физико-механических характеристик нанопористого АОА от микрогеометрии его ячеисто-пористой структуры, в том числе, от его объемной пористости. Использование наноструктурированного материала в качестве связующего звена между монолитной основой и осаждаемым на ней функциональным материалом обеспечивает решение многих проблем. За счет уменьшения градиента коэффициентов термического расширения подложки и функционального слоя снижается концентрация межфазных термомеханических напряжений и вероятность адгезионного разрушения. На основе анализа самоорганизации композиционного материала в трибосистемах, подверженных износу при трении металлов и полимеров [7], а также термодинамики процессов трения и изнашивания, были исследованы методики импрегнирования нанопористого АОА антифрикционными фторполимерами [8] и разработана методика прогнозирования деформационно-прочностных и триботехнических параметров полимерсодержащего покрытия как трансверсально-изотропного композита [9].

В настоящей работе представлены результаты формирования композитных полимерсодержащих покрытий, представляющих собой тонкие матрицы анодного оксида алюминия, пористый каркас которых заполнен полимером, а также исследований их структурных, механических и трибологических характеристик.

Формирование пористых матриц АОА осуществляли методом двухстадийного

электрохимического анодирования [10] при условиях, которые могли бы обеспечить наиболее предпочтительный размер пор и микрогеометрию матриц. Первоначальное анодирование слоя Al (1.7 мкм), нанесенного методом магнетронного распыления на кремниевые подложки (100 мм, 4.5 Ом см), осуществлялось в 0.4 М водном растворе винной кислоты при плотности анодного тока 6 мА/см² (200 В) в течение 5 минут. Регистрацию и мониторинг электрических параметров электрохимического процесса, задаваемых источником тока Keysight N5752A, регистрацию и мониторинг параметров процесса проводили с помощью цифрового мультиметра Keysight 34470A, соединенного посредством USB интерфейса с персональным компьютером с установленным программным обеспечением Bench Vue. Слой пористого оксида, сформированный в результате первого анодирования, селективно удаляли в нагретой до T=340°K смеси хромовой и фосфорной кислот. На структурированной отпечатками оксидных ячеек поверхности оставшегося алюминия толщиной 1.1 мкм формировали новый упорядоченный слой АОА в тех же электрохимических условиях. Для утонения стенок ячеек полученные матрицы АОА подвергали операции порорасширения в селективном растворе при температуре 330°K в течение 10 минут. В результате на поверхности подложки были получены матрицы АОА толщиной 1,450 мкм с периодом оксидных ячеек 450 нм и диаметрами пор от 220 до 250 нм.

На поверхность подготовленных матриц АОА были нанесены пленки поливинилиденфторида (ПВДФ) на опытно-промышленной установке плазмохимической обработки (ПХО) по специально разработанной технологии [11]. В процессе ПХО расстояние между электродами и образцом составляло 4,2 см. Процесс формирования полимерного покрытия проводили при давлении остаточного газа в камере 8 Па; напуск газовой смеси (мономера) производился при давлении 90 Па; для создания плазмы реализован СВЧ-разряд 5,47 МГц. В соответствии с методикой нанесения [11] толщина формируемого покрытия полимера определялась временем осаждения, которое составляло: $t_{обр}$ 10, 20, 30 и 60 мин. Морфологию поверхности и поперечные сколы полученных структур изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сканирующих электронных микроскопах Hitachi S-806 при ускоряющем напряжении 20 кВ и Hitachi S4-800 при ускоряющем напряжении 15 кВ.

На рисунке 1 представлены электронно-микроскопические изображения поверхности и поперечных сечений матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ с течение 10, 20 и 30 мин. Детальный анализ распределения полимера в процессе осаждения на поверхности матриц показал, что в результате 10 минутного синтеза молекулы ПВДФ осаждались в основном на поверхности стенок пор матриц. Проникновение молекул в глубь пор при указанных выше режимах было затруднено. На поверхности матриц было сформировано покрытие толщиной около 450 нм. При этом входы в поры были частично запылены, но оставались открытыми (рис. 1, а и г). После 20 минутного процесса ПХО на поверхности матриц сформировалась пленка толщиной около 750 нм. При этом на поверхности входы пор уже были запылены, но четко была видна морфология исходной матрицы АОА с равномерно распределенными зернами вдоль выходящих на поверхность матриц стенок оксидных ячеек (рис. 1, б и д). После 30 минутного синтеза профилированная поверхность матриц АОА стала практически гладкой, хотя исходная морфология еще осталась видна (рис. 1, в и е). Толщина полимерного слоя составила около 1 мкм при общей толщине композитного покрытия около 2,5 мкм.

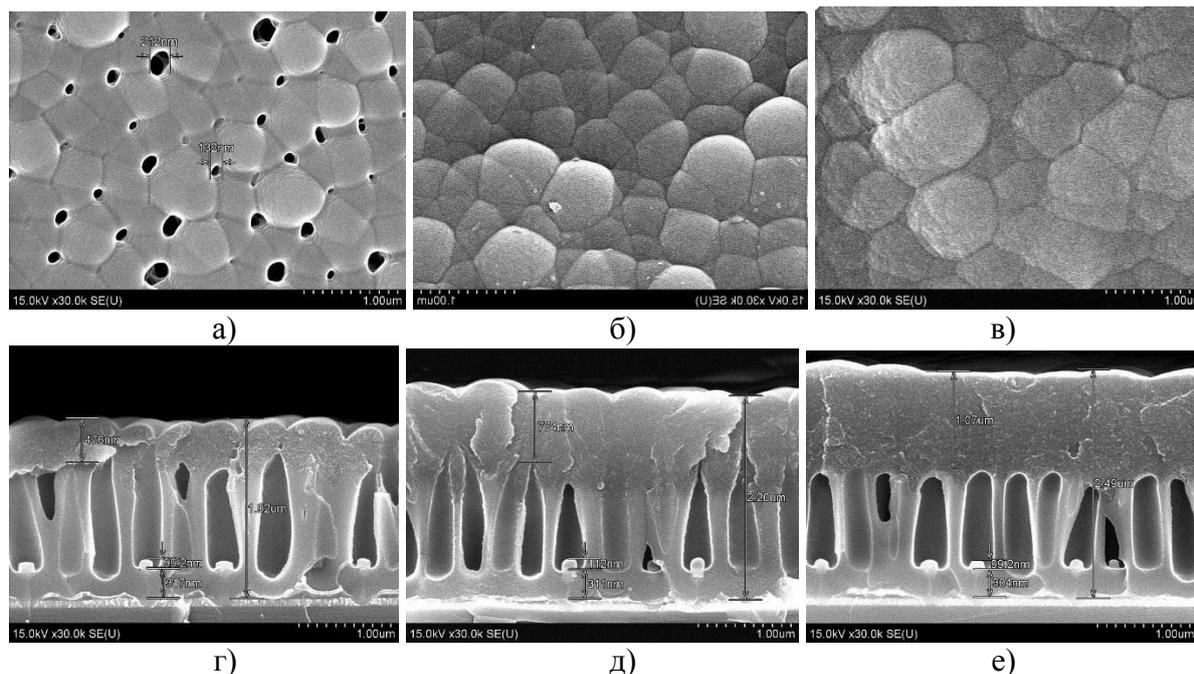


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения поверхности (а,б,в) и поперечных сечений (г,д,е) матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ с течение 10 (а,г), 20 (б,д) и 30 (в,е) мин.

При использовании подавляющего большинства полимерных покрытий в реальных технологических процессах стопроцентное заполнение пор не достигается. Помимо изменения площади поперечного сечения «ворса» АОА по глубине, неравномерность заполнения является дополнительным фактором градиентности свойств рассматриваемого композита. Экспериментально установлено, что степень заполнения и толщина «внешнего» полимерного слоя увеличиваются пропорционально длительности обработки образца $t_{об}$. На полученных образцах было проведено экспериментальное исследование коэффициента трения f_k нанопористого АОА от степени импрегнирования полимером и теоретическая интерпретация этой зависимости. Определение коэффициента трения образцов с композитным покрытием на стали проводились на универсальном микротрибометре MTU-2K7. Прибор позволяет измерять коэффициент трения тонких (от 2 нм) пленок при малых нагрузках (от 10 мН до 1 Н) в диапазоне скоростей скольжения 0,1 – 10 мм/с. Исследования проводили при нормальной нагрузке на индентор – 0,1 Н; скорости скольжения – 0,5 мм/с, при этом была обеспечена возможность регистрации момента частичного разрушения внешнего полимерного слоя и величины коэффициента трения композитного покрытия.

На рисунке 2 представлены экспериментальные зависимости коэффициента трения от числа циклов испытания для матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ в течение 10, 20 и 30 мин. На данных диаграммах можно отметить начальный участок, характеризующийся малым значением f . Для импрегнированных образцов этот участок характеризует трение внешнего полимерного слоя. С увеличением времени обработки протяженность данного участка возрастает. После частичного разрушения полимерного слоя регистрируемое значение коэффициента трения скачкообразно возрастает. Установившееся значение коэффициента трения f_k характеризует свойства металлполимерного композитного покрытия.

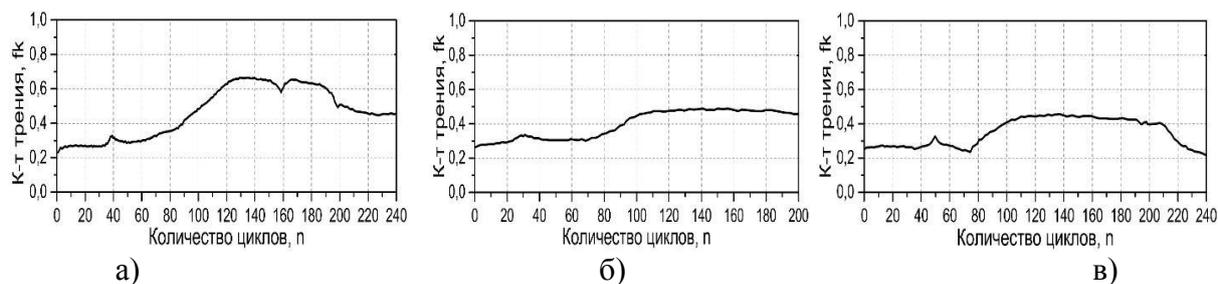


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения от числа циклов испытания для матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ в течение 10 (а), 20 (б), и 30 (в) мин.

Повторное падение значения коэффициента трения при $n > 200$ связано с частичным разрушением самого полимер-керамического покрытия. Величина f_k с увеличением длительности обработки $t_{об}$ снижается. Экспериментальная зависимость коэффициента трения от времени обработки представлена на рисунке 3а. Можно отметить, что с определенного момента времени ($t_{об} \geq 40$ мин) значение f_k стабилизируется. Зависимость коэффициента f_k от времени обработки обусловлена влиянием степени заполнения пор полимером, возрастающей с увеличением $t_{об}$, на эффективный коэффициент трения покрытия. Непосредственное экспериментальное изучение этого влияния требует наблюдения и подробного описания структуры покрытия на наномасштабном уровне. На данном этапе предлагается теоретическая интерпретация зависимости f_k ($t_{об}$).

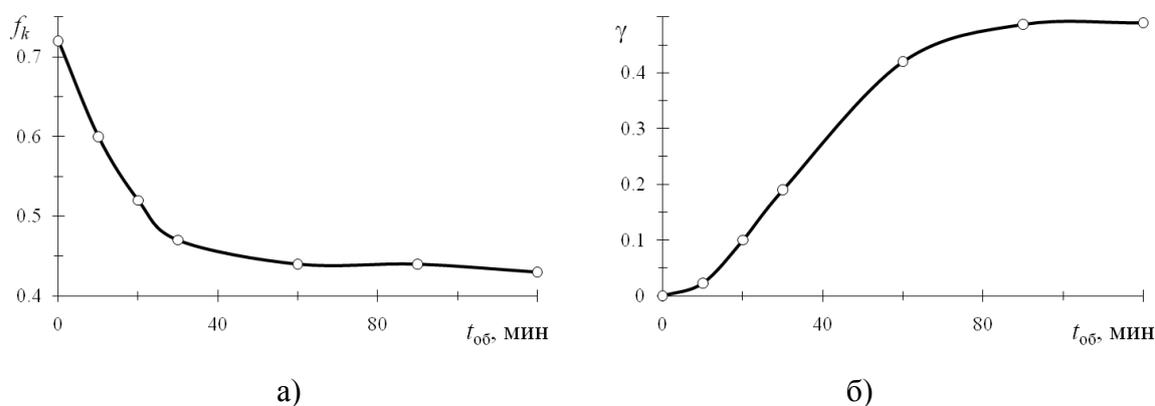


Рис. 3. Зависимости установившегося значения коэффициента трения композитного покрытия от длительности плазмохимической обработки (а) и степени ингибирования γ от времени обработки (б).

Материал исследуемого покрытия можно рассматривать, как волокноармированный композит, в котором сплошные волокна ориентированы нормально к поверхности покрытия. Для прогнозирования эффективного коэффициента трения такого композита можно использовать упрощенный подход, изложенный, в частности, в работе [8]. Используя изложенную методику и зависимость степени ингибирования γ от времени обработки, представленную на рис.3б, была установлена расчетная зависимость эффективного коэффициента трения покрытия от степени ингибирования γ . Следует отметить, что зависимость $\gamma(t_{об})$ имеет S-образный характер. Как отмечено выше, при малых $t_{об}$ проникновение полимера в поры практически пропорционально времени

обработки. При $t_{об} > 20$ мин скорость увеличения параметра γ существенно возрастает, а при $t_{об} > 60$ мин величина γ стабилизируется и принимает максимально возможное значение. В рассматриваемом случае $\gamma_{max} = 0,49$. Таким образом, разработанная расчетно-экспериментальная методика позволяет определить степень импрегнирования пористого АОА в условиях плазмохимической обработки и формированием в порах и на его поверхности покрытия, содержащего ПВДФ. Установлены зависимости степени ингибирования и коэффициента трения композитного покрытия АОА/ПВДФ от длительности обработки.

Таким образом, матричные полимерсодержащие покрытия на основе регулярных нанопористых пленок АОА, поры которых частично заполнены полимером, в частности, поливинилиденфторидом, представляют собой однородные по составу и микроструктуре композитные пленки с высокими трибологическими и механическими характеристиками, и могут быть использованы в качестве модифицирующих покрытий изделий машиностроения, подверженных коррозии и ускоренному износу.

Список литературы: 1. Юров В.М., и др. Некоторые вопросы механических свойств наночастиц и наноматериалов // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 12-2. – С. 349-353. 2. D. G. Morris. Mechanical Behaviour of Nanostructured Materials/ Trans. Tech. Publ., Ueticon-Zurich, Jan 1, 1998, 86 p. 3. Nanoporous Alumina: Fabrication, Structure, Properties and Applications / Eds.: Losic D., Santos A. Springer, 2015. – XIV. – 362 p. 4. Плиговка А.Н., Горох Г.Г., Лозовенко А.А., Шпилевский Э.М. / Столбиково-матричные наноструктуры из анодных оксидов тантала и алюминия: получение и свойства // *Наноструктуры в конденсированных средах* : сб. науч. ст. / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси ; редкол. : редкол. : О.Г. Пенязьков, Э.А. Шпилевский. – Минск, 2015. – С. 120–140. 5. Gorokh G.G., Pashechko M.I., Borc J.T., Lozovenko A.A., Kashko I.A., Latos A.I. / Matrix coatings based on anodic alumina with carbon nanostructures in the pores // *Applied surface science*. – 2018. – Vol. 43. – P. 829–835. (doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.10.117). 6. Плескачевский Ю.М., Хатько В.В., Горох Г.Г., Таратын И.А. Элементы сенсорных микросистем на основе наноструктурированных материалов // *Сб. научн. статей “Наноструктуры в конденсированных средах”*/ Под ред. П.А. Витязя. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. – С. 18–24. 7. Ю. К. Машков, О. В. Кропотин, С. В. Шилько, Ю. М. Плескачевский, Самоорганизация и структурное модифицирование в металлополимерных трибосистемах : монография / [– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013 г. – 222 с. 8. Shil’ko, S.V. Estimation of the friction coefficient of a nanostructured composite coating / S.V. Shil’ko, D. Chernous, T.V. Ryabchenko, V.V. Hat’ko // *Mechanics of Composite Materials*. – 2017. – Vol. 53, No. 5. – P. 579–588. 9. Шилько, С.В. Определение параметров деформирования и трения градиентных композитных покрытий, образованных частичным заполнением нанопор анодного оксида алюминия полимером / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, Т.В. Рябченко // *Актуальные вопросы машиноведения*: Сб. научн. тр. ОИМ. – Минск, 2017. – Вып. 6. – С. 141–144. 10. G. Gorokh, A. Mozalev, D. Solovei, V. Khatko, E. Llobet, X. Correig, Anodic Formation of Low-Aspect-Ratio Porous Alumina Films for Metal-Oxide Sensor Application, *Electrochim. Acta* 52 (2006) pp. 1771-1780. 11. Патент РБ № 6214, МПК С 08J. Способ модифицирования углеродных наполнителей для политетрафторэтилена / Шелестова В.А., Гракович П.Н. - № 19990866, Заявл. 06.09.1999; Оpubл. 30.03.2001 // *Официальный бюллетень*. – 2001. – №1. – С. 33

УПРОЧНЯЮЩИЕ ГАЗОПЛАМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И
ОБОРУДОВАНИЕ

Поветкин В.В.¹, Нурмуханова А.З.¹, Ермаков Д.К.¹, Букаева А.З.², Исаева И.Н.³

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

²Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан, ³Северо-Казахстанский государственный университет имени М.Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан.

Тел. 8 (777) 588 36 90; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Abstract: In the article the analysis of strengthening technologies of application of high-alloy materials on metals is carried out. The processes and technologies of wear-resistant coatings on metal surfaces of machine parts are considered. The authors propose a number of devices for applying hardening coatings on metal surfaces of machine parts and, in particular, on pipelines for oil and gas transportation.

Key words: wearproof powders, welding materials, thermal tool, detonation, plasma-tron, corrosion.

В машиностроении остро стоит проблема повышения ресурса работы технологического оборудования. Срок службы любого оборудования зависит от рабочих нагрузок и, связанного с ними, снижения износостойкости рабочих контактирующих поверхностей. В настоящее время имеется большой задел методов и средств повышения износостойкости трущихся и, испытывающие большие нагрузки, поверхности рабочих деталей машин [1-4].

Авторами [5-7] рассмотрены эффективные методы повышения износостойкости поверхностей деталей машин и оборудования, позволяющие наносить высокоэффективные порошковые и наплавочные материалы со сложной композицией легирующих элементов, повышая износостойкость и, как следствие, срок службы оборудования с высококачественным стойким покрытием. Предложенные материалы, также эффективны при защите от коррозии, например трубопроводной системы транспортирования жидких и газообразных, углеводородных материалов [5], что является первостепенной задачей для народного хозяйства Казахстана, как одной из ведущих стран мира, имеющей развитую газотранспортную систему.

В работах [5,6] проведены исследования и эксперименты по различным методам напыления износостойких порошков на рабочие поверхности изделий, установлены эффективные методы и технологические приемы нанесения покрытий с использованием газовых потоков большой скорости и температуры. При ударе высокоскоростного газового потока, с расплавленным порошковым материалом, по поверхности обработки, происходит прочное сцепление расплавленного потока порошка с поверхностью обработки.

В качестве рабочей среды используются различные горючие материалы на основе пропана или ацетилена, имеющих высокую температуру горения, что позволяет использовать (расплавлять) многие легирующие материалы. Также в промышленности используются эффективные способы нанесения износостойких покрытий детонационным и плазменным способами, обладающих высокой эффективностью, но низкой стойкостью рабочих элементов – электродов и быстроизнашивающихся сопел [4].

Для решения вопроса повышения эффективности способа напыления износостойких материалов из легирующих металлов, авторы предлагают термометанационный способ, реализующий малогабаритными ракетными горелками (термоинструментами).

Термоинструменты широко используются в горном и строительном производстве при добыче и обработке гранитных блоков [8], они обладают высокими скоростями газового потока (факела) и высокой температуры. Высокая скорость газового потока, с включением порошковых материалов, позволит улучшить адгезионные свойства покрытия. Эти параметры тепловых потоков реализуются жидкостными газовыми горелками, работающие на основе внутри камерного сжигания углеводородных горючих и образования высокоскоростного (2000-2500 м/сек), высокотемпературного (2000-2500 и более °С) факела, в который вводится и транспортируется на поверхность обработки порошковый материал.

В результате исследования [9], на уровне изобретения, разработан способ газопламенного напыления металлических порошков и устройство для его осуществления.

Изобретение относится к технологии и оборудованию газопламенного напыления и может быть использовано при нанесении покрытий, например, для восстановления трубопроводной арматуры. Известен способ газопламенного напыления металлических порошков, включающий подачу в горелку камеры сгорания топлива и окислителя, а в сопло горелки металлического порошка, а также подачу дополнительного окислителя - воздуха с образованием напылительного потока, направляемого через цилиндрический насадок, соединенный с горелкой, на поверхность обрабатываемых деталей [10].

Известно устройство для газопламенного напыления металлических порошков, с помощью которого осуществляется способ, содержащее камеру сгорания, включающую горелку с соплом и соединенный с горелкой цилиндрический насадок, трехканальный коллектор для подачи топлива и окислителя в камеру сгорания, кольцевой диффузор с каналами для подсоса дополнительного окислителя - воздуха, магазин для подачи в сопло металлического порошка, и механизм для перемещения обрабатываемых деталей, который расположен снаружи от камеры сгорания [10].

Недостаток способа и устройства для его осуществления заключается в том, что напылительный поток удален на некотором расстоянии от среза сопла горелки, за счет чего происходит охлаждение газовой струи потока. Газовая струя, имеющая температуру 2500°С в зоне окисления, охлаждается до температуры 1100-1200°С, что существенно снижает адгезионные свойства покрытия.

Задачей изобретения является разработка способа и устройства для газопламенного нанесения металлических порошков, которые обеспечивают высокую температуру транспортируемого газа по всей длине факела от камеры сгорания до поверхности обработки.

Для достижения технического результата в способе газопламенного напыления металлических порошков, включающем подачу в камеру сгорания топлива, окислителя, металлического порошка, а также подачу дополнительного окислителя, с образованием напылительного потока, направляемого на поверхности обрабатываемых деталей, согласно изобретения в струю напылительного потока, на выходе из камеры сгорания, вводят термитный порошок в количестве 8-10% от массы напыляемого металлического порошка. В качестве термитного порошка используют алюминий или оксид алюминия, или смесь алюминия и оксида железа.

Для достижения технического результата в устройстве для газопламенного напыления металлических порошков, содержащем камеру сгорания, горелку с соплом, соединенный с горелкой цилиндрический насадок, трехканальный коллектор для подачи

топлива и окислителя в камеру сгорания, кольцевой диффузор с каналами для подсоса дополнительного окислителя - воздуха, магазин для подачи в сопло металлического порошка, и механизм для перемещения обрабатываемых деталей, согласно изобретения на срезе цилиндрического насадка выполнены наклонные каналы для подачи термитного порошка (рисунок 1).

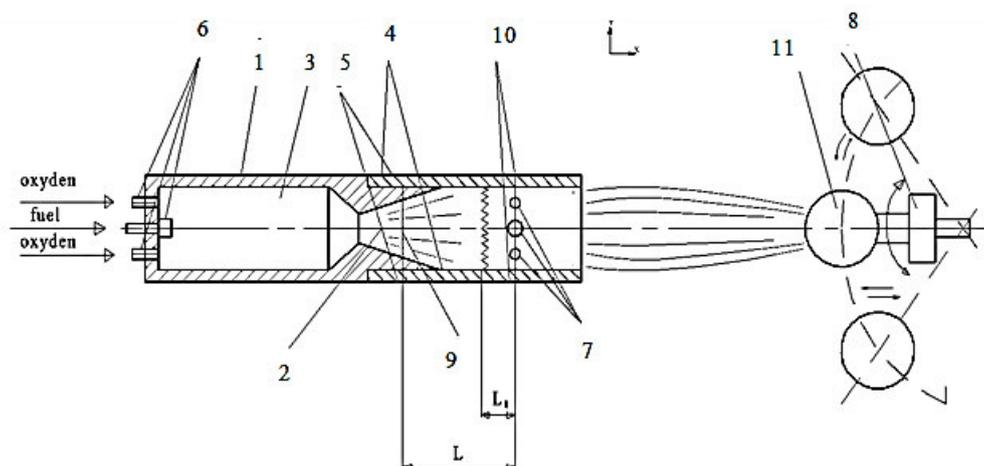


Рис. 1. - Устройство для газопламенного напыления металлических порошков:

1 - камера сгорания, 2 - сопло Лавалья, 3 - газоструйная горелка, 4 - цилиндрическая насадка, 5, 10, 12 - отверстия, 6 - трехканальный коллектор, 7 - кольцевой диффузор, 8 - механизм, 9 - длина L относительно среза, 11 - деталь

Предлагаемое устройство для газопламенного напыления металлических порошков, представленное на чертеже, содержит камеру сгорания 1, газоструйную горелку 3 с соплом Лавалья 2 и, соединенный с горелкой цилиндрический насадок 4, в котором на участке соединения с соплом 2 выполнены отверстия 5 для соединения полости насадка 4 с магазином для подачи в насадок 4 металлического порошка.

Трехканальный коллектор 6 для подачи топлива и окислителя введен в горелку 3. Кольцевой диффузор 10 выполнен в виде перфорированной перегородки 10 с шероховатой поверхностью и расположен внутри цилиндрического насадка с равноудаленными на длину L относительно среза 9, сопла 2 наклонными под углом к оси насадка 4 отверстиями 10 для подачи дополнительного окислителя - воздуха. Механизм 8 перемещения деталей 11 расположен снаружи на выходе из камеры сгорания 1. На срезе цилиндрического насадка 4 дополнительно выполнены наклонные отверстия 12 для подачи термитной смеси алюминия или оксида алюминия, или смеси алюминия и оксида железа, которая при сгорании в потоке газовой струи предотвращают снижение температуры напылительного потока, обеспечивают постоянную температуру распыляемого порошка на всей длине его транспортировки до поверхности обработки.

Предлагаемое устройство для газопламенного напыления металлических порошков работает следующим образом. При подаче топливных компонентов (бензина, керосина, солярового масла, пропана) и окислителя через трехканальный коллектор 6 в горелку 3 камеры сгорания 1 осуществляется их поджог от факела или электрической свечи. Образовавшиеся газообразные продукты сгорания, имеющие температуру 2500°C , через сопло 2 истекают в цилиндрический насадок 4 со скоростью порядка 2000 м/сек .

Одновременно, в истекающую из горелки 3 высоко температурную газовую струю через отверстия 5, соединенные с магазином (на чертеже не показан) подают металлический порошок, который при движении в струе разогревается до пластического состояния, а также дополнительный окислитель (окружающий воздух из атмосферы), который поступает во встречном направлении в цилиндрический насадок 4 через отверстия 10 и кольцевой диффузор 7.

При этом транспортировка порошкового материала производится также во встречном направлении движения дополнительного окислителя через диффузор 7 во фронте ударной волны, созданном в потоке газа за счет ударного импульса с образованием мощного скачка уплотнения при встрече с шероховатой поверхностью диффузора 7, который, двигаясь навстречу газовому потоку, уравнивается скоростью набегающего потока и устанавливается на участке L диффузора 7.

Газовый поток, несущий металлический порошок и несгоревшее горючее, из горелки 3 поступает в стационарную ударную волну и с высокой скоростью поддерживает сгорание в ней горючего. Быстрое догорание топливных компонентов и расплавление металлического порошка происходит за счет дополнительного окислителя в скачке уплотнения L_1 . Вновь образовавшаяся за фронтом ударной волны на участке L_1 газовая струя, несущая металлический порошок разгоняется, в цилиндрическом насадке и со скоростью 2000-2500 м/сек направляется на поверхность обрабатываемых деталей 11 (трубопроводная арматура, шаровая поверхность клапанов).

Подаваемый термитный порошок через наклонные отверстия 12, расположенные на срезе цилиндрического насадка, обеспечивает поддержание стабильной температуры порядка 3000°C по всей длине факела горелки. Осуществляли газопламенное напыление хрома, алюминия, никеля, молибдена с использованием в качестве термитного порошка - алюминия или оксид алюминия, или смеси алюминия и оксида железа. Расход термитного порошка составлял 8-10% от массы напыляемого металлического порошка. Прочность сцепления покрытия с основой составила более 50 МПа, тогда как по известному способу - 45МПа.

Одним из практических вариантов использования прогрессивных технологий позволяющих упрочнить поверхности зубчатых зацеплений, является воздействие на рабочие поверхности зубьев высокоскоростным факелом горелки. Способ упрочнения зубчатых колес состоит в дробеструйной обработке эвольвентной поверхности зубьев ведомой шестерни привода шаровой мельницы для создания в поверхностном слое наклепа и развития в нем напряжений сжатия, а для увеличения точности работы зубчатого зацепления и устранения геометрических погрешностей перед поверхностной обработкой дробью и создания в новом слое наклепа ведомую шестерню передачи подвергают предварительной приработке ведущей закаленной шестерни в течении 10-12 часов при рабочем режиме мельницы, отличающийся тем, что после приработки осуществляют дополнительный нагрев поверхностного слоя зубьев до температуры ниже структурно-фазовых превращений, после чего поверхность зуба колеса подвергается дробеструйной обработке, причем нагрев осуществляется факелом ракетной горелки с возможностью перемещения и фиксации в направлении относительно обрабатываемой поверхности, а пятно контакта факела горелки располагается по всей высоте зуба, включая дно [11].

Выводы:

1. Выполнен анализ современных способов нанесения защитных покрытий износостойкими материалами, в высокотемпературных и высокоскоростных газовых потоках, с применением порошковых материалов из легирующих сталей;

2. Разработан способ газопламенного напыления металлических порошков, включающее подачу в камеру сгорания топлива, окислителя, металлического порошка, а также дополнительного окислителя с образованием напылительного потока, направляемого на поверхность обрабатываемых деталей, а в струю напылительного потока, на выходе из камеры сгорания, вводят термитный порошок в количестве 8 - 10 % от массы напыляемого металлического порошка, в качестве которого используют алюминий или оксид алюминия, или смесь алюминия и оксида железа;

3. Предложено устройство для газопламенного напыления металлических порошков, включающее горелку с соплом, соединенный с горелкой цилиндрический насадок, трехканальный коллектор для подачи топлива и окислителя в камеру сгорания, кольцевой диффузор с каналами для подсоса дополнительного окислителя, магазин для подачи в сопло металлического порошка, и механизм для перемещения обрабатываемых деталей, а для подачи термитного порошка в газовый поток, на срезе цилиндрического насадка выполнены наклонные каналы.

Список литературы: 1. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий: учебн. пособие/ Б.С. Зенин, А.И. Слосман; Томский политехнический университет. - 2-е изд. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 120 с. 2. Лашенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. Экотехнология. Киев. 2003.-64 с. 3. Порошковая металлургия и напыленные покрытия/ под ред. Митина Б.С. – М.: Металлургия, 1987.-792 с. 4. Тополянский П.А. Финишное плазменное упрочнение инструмента и оснастки – итоги исследований и внедрений/ П.А. Тополянский, Н.А. Соснин, С.А. Ермаков//Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 6-й Международной практической конференции-выставки 13-16 апреля 2004 г. - Санкт-Петербург: Изд. СПбГПУ. - 2004 - С. 232-257. 5. Ермаков Д.К., Поветкин В.В., Руткуниене Живилье. Состояние оборудования и технологий для нанесения износостойких покрытий на технологические оборудования. Вестник Казахстанско - Британского технического университета. Алматы. - № 1 (48) 2019. – 7-15 с. 6. Ермаков Д.К., Поветкин В.В., Руткуниене Живилье. Влияние коррозионной среды на физико-химическое изнашивание деталей оборудования с износостойким покрытием. Вестник Казахстанско - Британского технического университета. Алматы. - № 2 (53) 2020. – 15-20 с. 7. Костицына И.В. Коррозионная стойкость трубных сталей в агрессивных средах нефтяных и газовых месторождений: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.04: Челябинск, 2014 – 147 с. 8. Поветкин В.В. Огнеструйная обработка гранитных блоков. – Алматы, 2001.-145 с. 9. Инновационный патент РК 27057. Байшуаков А.А., Поветкин В.В., Карим М.С. Способ газопламенного напыления металлических порошков и устройство для его осуществления. Оpubл. 14.06.2013, бюл. №6. 10. Предварительный патент РК 15419. Поветкин В.В., Поветкин А.В., Байшуаков А.А. Установка для нанесения газотермических покрытий. Оpubл. 15.02.2005. 11. Инновационный патент РК 29620. Поветкин В.В., Сушкова О.А., Ибрагимова З.А. Способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц. Оpubл. 16.03.2015, бюл. №3.

DEVELOPMENT OF PRINCIPLES OF MODIFICATION BY HIGH-ENERGY PLASMA EXPOSURE OF COATINGS FROM CERAMICS WITH THE APPLICATION OF ADDITIVES OF REFINING METALS**Panteleenko F.I., Okovity V.A., Astashinsky V.M., Devoino O.G., Okovity V.V.***(Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus)**Tel / Fax: (017)293-92-23; E-mail: scvdmmed@bntu.by*

Abstract: *Studied and optimized technological parameters of hardening high-energy processing sprayed coatings of materials based on oxide ceramics with inclusions of solid lubricant. Structure formation processes were investigated with reflow, compaction and high-speed cooling of coatings. The criterion for optimization modes is a maximum degree of local melting and compacting the deposited compositions in the absence of signs destruction coatings by laser radiation effects.*

Key words: *Ceramic coating, plasma spraying, utilization rate of the material, optimization of the parameters.*

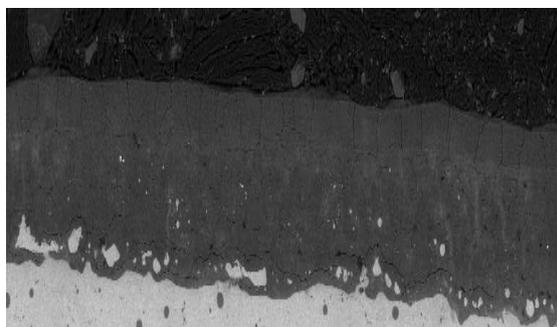
Pulse Laser Processing. A solid state quasistationary laser emitter is used as technological equipment. It allows you to process coatings with laser pulses of up to 4 ms duration obtained in the free generation mode. To optimize the hard laser processing regimes, it is necessary to study the effect of the power density of the laser pulse on the degree of fusion of the deposited compositions. When varying the power density, it was taken into account that the shape of the pulses of solid-state laser radiation in the free-running mode is determined by the shape of the pump current pulses. Along with the power density, the total number of laser pulses in the treatment spot was optimized. The specified process parameter affects the thickness of the treated coating layers [1-3]. Table 1 presents the results of power density optimization. Along with the power density of pulsed radiation, the total number of laser beam pulses in the treatment spot was optimized to form completely melted coatings throughout the entire thickness (0.5 - 0.6 mm). The microstructure of the coatings obtained in the optimized processing conditions is shown in Fig. 1. As in the case of the pulsed-plasma exposure technology, the coating layers are a fused cermet material. During reflow, chemical interaction at the boundaries of the main phases of the applied compositions is activated. The products of chemical interaction can be finely dispersed (including nanoscale) formations that strengthen the boundaries of the main phases and the coating as a whole [4-5].

Pulsed plasma treatment. The pulsed - plasma treatment of the sprayed coatings was carried out using a gas-discharge quasistationary accelerator such as a magnetoplasma compressor (MPC). The advantage of MPC over other types of accelerators is the high stability of the compression flow generated by it, the ability to control its composition, size and plasma parameters for a discharge duration sufficient for practical applications [4] The optimization technique was based on the need to obtain hardened amorphous or close to them nanocrystalline structures coatings that are the subject of research [3]. Under the thermal action of a plasma jet pulse, the coating layer is melted to a thickness of the order of 30 μm and it is superfast cooled with heat removal to the substrate. The higher the degree of short-term melting of a composition containing various phases (including refractory), the more centers of subsequent crystallization (amorphization) of the material, from which hardened structures develop upon ultrafast cooling. Taking into account the foregoing, the criterion for optimizing the pulse - plasma treatment of coatings, Al_2O_3 -30% Cr_2O_3 -12.5% MoS_2 and Al_2O_3 -25% TiO_2 -25% Cr_2O_3 -12.5% MoS_2 , the maximum degree of their fusion and compaction was selected,

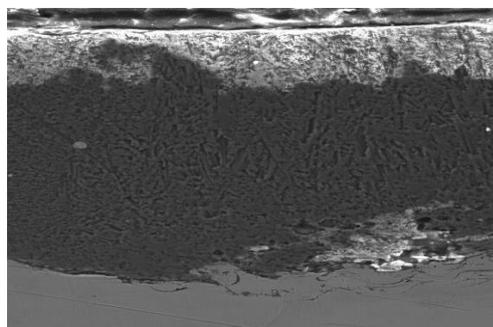
which is achieved by increasing the energy the level of thermal and shock - wave impact of the pulse while reducing the distance of exposure to a minimum value. However, the reduction in distance is limited by the appearance of signs of destruction of the coatings (for example, cracks develop). According to the methodological approach, when varying the technological parameters of the pulse - plasma treatment, the distance of the impacts by pulses and their total number were changed. The latter technological parameter affects the thickness of the treated coating layers. For wear-resistant coatings that are the object of research, increased cohesive and adhesive strengths are required. Therefore, the total number of pulses should provide melting and compaction of the coatings over the entire thickness, which will fully contribute to the production of hardened structures. Table 2 presents the results of optimization of the processing distance. The microstructure of coatings obtained in optimized processing modes is shown in Figure 2. As you can see, the coating layers are a fused metal - ceramic material. A fairly uniform distribution of structural elements takes place. This helps to increase the wear resistance of the applied compositions. In photographs of structures, traces of particles of solid lubricants forming coatings are noticeable. The indicated structural elements are observed in the form of characteristic non-etched (light) shells. Preservation of the structure of sprayed composite particles in a plasma jet, their collision with the substrate, and after exposure to plasma pulses indicates that the composition of the initial powders does not undergo significant changes during coating formation.

Table 1 - The results of studies on the optimization of power density

Coating	Density of the laser pulse power, x 105 W / cm ²	Porosity index on the thin sections of the treated coating, %
Al ₂ O ₃ -25%TiO ₂ -25%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂	4,0	3,5 – 4,6
	4,5	3,2 – 3,9
	5,5	3,1 – 3,5
	6,0	2,5 - 3,1
	7,0	2,7 – 3,2
Al ₂ O ₃ -30%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂	5,0	4,2 – 5,0
	6,0	3,7 – 3,9
	6,5	3,4 – 3,6
	7,0	3,1 – 3,3
	8,0	3,2 – 3,4



a

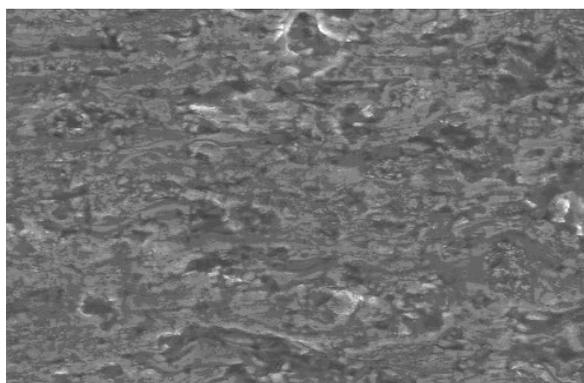


b

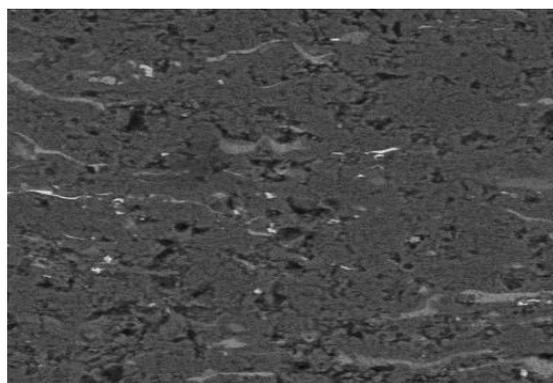
Figure 1. Microstructure of the coating: a- Al₂O₃-30% Cr₂O₃-12,5%MoS₂; b- Al₂O₃-25%TiO₂-25%Cr₂O₃-12,5%MoS₂ (x500) after after treatment with laser pulses

Table 2 - The results of studies to optimize the processing distance

Coating	Pulse-plasma treatment distance, m	Porosity index, %
Al ₂ O ₃ -25%TiO ₂ -25%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂ (CBC)	0,09	3,7 – 4,9
	0,08	2,8 – 4,5
	0,07	2,6 – 3,9
	0,06	2,6-3,4
	0,05	2,5-3,3
	0,04	Destruction of the coating
Al ₂ O ₃ -30%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂ (agglomerate.)	0,09	4,5 – 5,9
	0,08	3,8 – 5,1
	0,07	3,4 – 4,8
	0,06	3,1-4,7
	0,05	Destruction of the coating



a)



б)

Figure 2- Microstructure of the coating: a- Al₂O₃-30% Cr₂O₃-12,5%MoS₂; b - Al₂O₃-25%TiO₂-25%Cr₂O₃-12,5%MoS₂ (x500) after pulsed plasma treatment

Conclusions. 1. The necessary and sufficient number of pulses for coatings from Al₂O₃-25% TiO₂-25% Cr₂O₃-12.5% MoS₂ powder is 6-7 exposures, and for coatings from Al₂O₃-30% Cr₂O₃-12.5% MoS₂ powders -5-8. Additional pulses are ineffective, since their repeated repetition worsens the geometry of the surface of the coating due to thermal destruction. The total number of pulses of laser radiation is much smaller in comparison with the pulses of a plasma jet (12 - 15) when exposed to the same coatings. This is explained by the exposure duration, which is respectively 4ms and 400 μs. The microstructure of the coatings is a melted cermet material. During reflow, chemical interaction at the boundaries of the main phases of the applied compositions is activated. The products of chemical interaction can be finely dispersed (including nanoscale) formations that strengthen the boundaries of the main phases and the coating as a whole.

2. The optimal distance pulsed-plasma treatment of coatings for Al₂O₃-25% TiO₂-25% Cr₂O₃-12.5% MoS₂ - 0.06 m; for Al₂O₃-30% Cr₂O₃-12.5% MoS - 0.07 m. This is evidenced

by the stabilization of porosity, whose desired reduction by the optimization criterion practically does not occur at distances below 0.06 and 0.07 mm, which is explained by the short duration of thermal and dynamic pulsed effects ($\sim 200 \mu\text{s}$), as well as the significant content of the refractory phase in the coatings, preventing the increase in the degree of fusion and compaction of coatings. In addition, at distances ≤ 0.04 m for Al_2O_3 -25% TiO_2 -25% Cr_2O_3 -12.5% MoS_2 and 0.05 m for Al_2O_3 -30% Cr_2O_3 -12.5% MoS_2 , coatings are destroyed with the development of macrocracks. Along with the processing distance, the total number of plasma pulses was optimized to form completely melted coatings over the entire thickness of the coatings. It has been established that the necessary and sufficient number of pulses for the complete processing of coatings for Al_2O_3 -25% TiO_2 -25% Cr_2O_3 -12.5% MoS_2 obtained by the SHS method is 14-15 exposures, for Al_2O_3 -30% Cr_2O_3 -12.5% MoS_2 obtained by the method of agglomeration of a finely divided mixture with subsequent high-temperature sintering of 12 - 13 impacts. Additional impulses are impractical, since their repeated repetition worsens the geometry of the surface of the coating. The coating layers are a fused metal - ceramic material. A fairly uniform distribution of structural elements takes place. This helps to increase the wear resistance of the applied compositions.

References: 1. Panteleenko, F.I. Development of a composite material based on multifunctional ceramics for plasma spraying / Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devino OG, Astashinsky V.M., Okovity V.V. // "Hardening technologies and coatings", Engineering Moscow, 2015.-Issue 2.- P.43-47. 2. Chained, V.A. Optimization of the spraying process of wear-resistant coatings based on multifunctional oxide ceramics / Okovity VA, Panteleenko AF // "Processing of metals", Novosibirsk, 2015. No. 2 (67) .- P.46-54. 3. Chilled, V.A. The technology of composite materials based on multifunctional oxide ceramics / Okovity V.A., Panteleenko F.I., Talako T.L., Panteleenko A.F // // "Metal Processing", Novosibirsk, 2015.-№2 (67) .- P.39-45. 4. Panteleenko, F.I. Investigation of processes and optimization of technological parameters of pulse-plasma treatment of plasma coatings from materials based on multifunctional oxide ceramics // Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devino O.G., Astashinsky V.M., Okovity V.V. // Proceedings of the international scientific and technical conference "Innovations in mechanical engineering" Kemerovo, 2015.p.360-364. 5. Composition for thermal spraying of wear-resistant coatings: US Pat. 19111 Rep. Belarus, IPC B22F 1/00; C23C4 / 04 / Okovity V.A., Devno O.G., Panteleenko A.F., Okovity V.V. .- the applicant - BNTU-No a 20120954; declared 06/22/2015, published on April 30, 2015 // Afitsyiny bul. Nat Center Intellectual. Ulasnasti. - 2015. - No. 2.

МНОГОЗАХОДНЫЙ ГИПЕРБОЛОИДНЫЙ ИНСТРУМЕНТ
С ЛИНЕЙНЫМ КОНТАКТОМ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛЬЮ

Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Черных В.В.

(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)

тел./факс: + 38 (0642) 341826; e-mail: vitrenko.vl@gmail.com

Abstract: The article investigates new method of rotation body type details rolling and unrolling using principally new rolling instrument. Instrument profile has been obtained as an envelop of the detail. The investigation results have been introduced into production process. It has been shown that rolling instrument has a linear character of contact with the detail being treated.

Key words: instrument, roller, linear contact, envelop, sliding speed.

В представленной работе решена актуальная задача повышение качества и точности сглаживающей и упрочняющей накатки деталей типа тел вращения при помощи принципиально нового накатного инструмента, полученного согласно схеме формообразования третьего класса.

Преждевременный выход из строя деталей ходовой части подвижного состава происходит по причинам износа, питтинга, трещин, сколов и т.д. может быть в значительной мере уменьшен. Борьба с этими выходами из строя можно различными методами: изменением конструкции этих деталей, их геометрических размеров и конструкции всей машины в целом, применением новых высокопрочных материалов, изменением технологии их изготовления, применением новых высокоэффективных методов накатки при помощи принципиально нового накатного инструмента.

На промышленных предприятиях накатку осей тепловоза производят на специальных токарно-накатных станках при помощи двух роликов, расположенных диаметрально противоположно. Эти ролики изготавливают из инструментальной стали. Раскатка отверстий в колесных центрах производится на токарно-карусельных станках при помощи двух шариков или роликов, оси которых параллельны оси раскатываемого колесного центра. Схема такой накатки представлена на рис. 1. На рисунке 1 – обрабатываемая деталь; 2 – накатной (раскатной) инструмент).

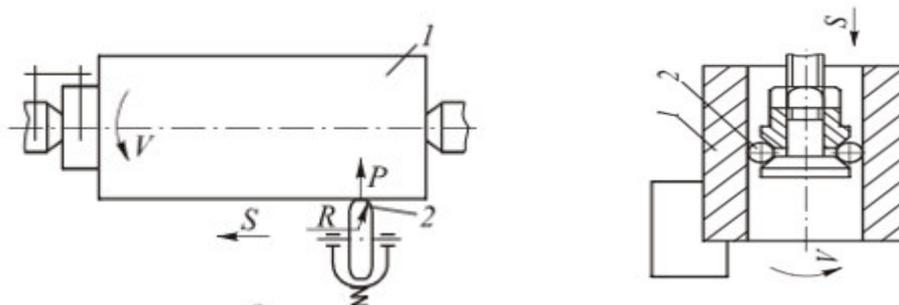


Рис. 1. Схема накатки оси тепловоза и раскатки отверстия в колесном центре

В процессе накатки появляется относительное скольжение поверхности оси и накатного инструмента. Это приводит к тому, что на поверхности накатываемой тепловозной оси обрабатываемый материал течет в разных направлениях. При такой обработке контактные линии на поверхности обрабатываемого изделия параллельны оси. Это приводит к тому, что ролик внедряется в обрабатываемый металл, гонит вдоль по-

верхности оси волну пластически деформируемого металла. С увеличением подачи инструмента увеличивается шаг волны или винтовой линии.

Для устранения таких недостатков необходимо развернуть контактные линии по отношению к обрабатываемой поверхности, для чего необходимо изменить схему накатки, т.е. накатывать детали при скрещивающихся осях накатываемого изделия и накатного инструмента.

В этом случае накатной инструмент должен проектироваться на заготовках вида однополостной гиперboloид.

Целью теоретических исследований является получение исходной инструментальной поверхности, разработка принципиальной схемы формообразования поверхности накатываемой детали на основе анализа процесса взаимодействия цилиндрической и гиперboloидной поверхностей.

Последовательность расчетов следующая. На основе данных про гиперboloидный накатник определяется уравнение его криволинейных образующих. Вводятся системы координат, связанные со звеньями станочного зацепления. Составляются формулы преобразования координат в виде квадратных матриц четвертого порядка $M_{i,j}$, i, j – индексы систем координат. В обозначении матриц индекс, стоящий первым, обозначает систему координат, в которую переводится старая система. Определяется связь между координатами обеих систем координат.

Определяется огибающая однопараметрического семейства поверхностей или семейство поверхностей гиперboloидного инструмента. Задается уравнение обрабатываемой цилиндрической поверхности в виде:

$$r_1 = r_1(v, \psi), \quad (1)$$

где: v и ψ - переменные параметры (криволинейные координаты поверхности).

Выполняем переход к соответствующей системе координат и получаем запись семейства огибающих в виде:

$$\begin{aligned} x &= f(x_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, y, z), \\ y &= f(y_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, x, z), \\ z &= f(z_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, y, x), \end{aligned} \quad (2)$$

где: x, y, z - новые координаты, x_1, y_1, z_1 - старые координаты, φ_1, φ_2 - углы поворота накатываемой детали и гиперboloидного инструмента соответственно.

Определяется уравнение радиус-вектора и орта нормали производящей поверхности. Определяются условия существования теоретической производящей поверхности гиперboloидного инструмента.

Определяются условия непрерывности касания поверхности накатываемой детали и гиперboloидного инструмента в виде:

$$\left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} \right] \frac{\partial \vec{r}}{\partial \varphi} = 0. \quad (3)$$

Для определения уравнения поверхности при станочном зацеплении необходимо переписать в неподвижную систему координат уравнение производящей поверхности согласно формуле:

$$\bar{r}_u^{(0)} = M_{oi} \bar{r}_u, \quad (4)$$

где: $\bar{r}_u^{(0)}$, \bar{r}_u - радиус-векторы, которые определяют производящую поверхность в неподвижной и существующей системах координат соответственно, M_{oi} - матрица перехода.

Рассмотрим уравнение (3) совместно с уравнением зацепления

$$\bar{e}_u^{(0)} \bar{V}_{ui}^{(0)} = 0, \quad (5)$$

где: $\bar{e}_u^{(0)}$ - вектор нормали, $\bar{V}_{ui}^{(0)}$ - вектор относительной скорости.

В уравнениях (4) и (5) верхний индекс, который заключен в скобки, указывает на систему, в которой записываются уравнения.

К основным параметрам процесса формообразования поверхности накатываемой или раскатываемой детали гиперboloидным инструментом относятся:

1. Относительная скорость скольжения;
2. Суммарная скорость движения обрабатываемых поверхностей в направлении, перпендикулярном линиям контакта;
3. Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением линий контакта;
4. Удельные скольжения при накатывании поверхностей гиперboloидными инструментами;
5. Длина линий контакта;
6. Приведенная кривизна контактирующих поверхностей.

С учетом выражения относительной скорости скольжения и нормали к обрабатываемой поверхности, можно определить радиус-вектор на поверхности гиперboloидного инструмента в следующем виде:

$$r_1 = r_1(v, \psi) = (x_1(v) - r) \vec{i} + y_1(v) \vec{j} + z_1(\psi) \vec{k}, \quad (6)$$

с учетом прохождения через точку двух координатных линий, связанных со скоростью относительного движения и углом скрещивания осей.

Активные поверхности могут иметь особенные и узловые точки. В особенных точках нормаль поверхности не определена, вследствие чего неопределенными являются условия касания огибающей поверхности и поверхности, которую огибают. Особые точки отвечают, как правило, точкам граничной линии производящей поверхности. Узловые точки являются точками касания или пересечения характеристик взаимноогибающихся поверхностей.

Присутствие таких точек на активной поверхности инструмента является нежелательным, т.к. геометрическое место осевых точек определяет границу подмятой части поверхности, а в узловых точках возникают неблагоприятные кинематические условия создания масляного клина.

Для построения уравнения поверхности гиперboloидного инструмента необходимо рассмотреть данную поверхность как огибающую поверхности при двухпараметрическом огибании. В качестве параметров при двухпараметрическом огибании рассматриваются вращение и подача инструмента.

На основании рассмотрения схем однопараметрического и двухпараметрического огибания исследуется возможность построения схемы обработки цилиндрической детали, закладываемой в моделирование при создании гиперboloидного инструмента.

Аналитически на основе уравнений поверхности обрабатываемой детали с учетом заданного угла скрещивания осей определяем профиль гиперболоидного инструмента для накатки валов и раскатки отверстий в колесном центре.

Для проведения анализа процесса накатки деталей аналитически описываем основные параметры процесса: относительную скорость скольжения, суммарную скорость движения накатываемых поверхностей в направлении, перпендикулярном линиям контакта, угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением линий контакта, удельные скольжения при накатывании поверхностей гиперболоидными инструментами, длину линий контакта, приведенную кривизну контактирующих поверхностей.

В результате проведенных исследований был разработан накатной инструмент для накатки осей локомотива. Схема накатки при помощи разработанного инструмента представлена на рис.2.

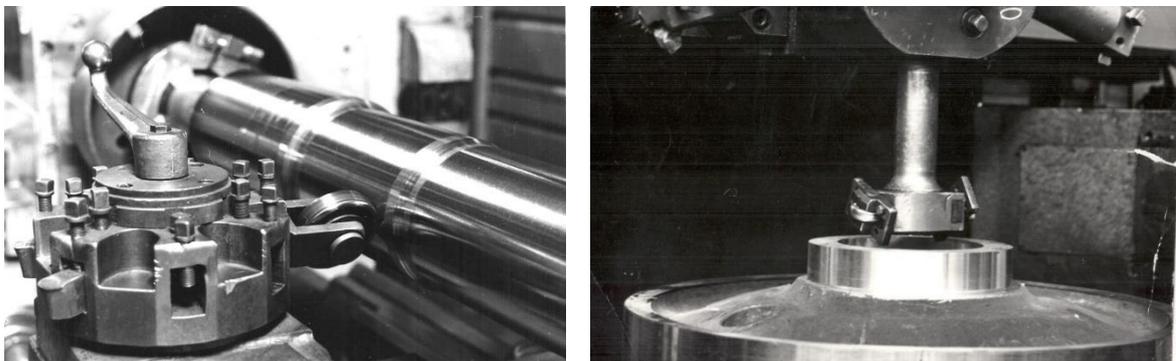


Рис. 2. Накатка оси локомотива и раскатка отверстия в колесном центре при помощи разработанного инструмента.

Раскатка отверстий в колесном центре тепловоза осуществлялась на токарно карусельном станке. Для такой раскатки было изготовлено специальное приспособление (оправка). В оправке сконструировано два ролика которые распирает специально подобранная пружина. Схема такой раскатки представлена на рис. 2.

Разработанный инструмент и приспособления позволили устранить волну пластически деформированного металла, бегущую перед роликом. Разработанная технология позволила стабилизировать параметры накатанных и раскатанных поверхностей, что снизило брак при запрессовке оси в колесный центр.

Список литературы: 1. Браславский, В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. – М.: Машиностроение, 1975. – 159 с. 2. Ильин Л.Н. Основы учения о пластической деформации / Л. Н. Ильин. – М.: Машиностроение, 1980. – 150 с. 3. Кудрявцев, И. В. Усталость крупных деталей машин / И.В. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1981. – 237 с. 4. Родин, П. Р. Основы проектирования режущих инструментов / П. Р. Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с. 5. Сахаров, Г.Н. Обкаточные инструменты / Г. Н. Сахаров – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с. 6. Школьник, Л. М. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. / Л. М. Школьник, Шахов В. И. – М.: Машиностроение, 1964. – 184 с. 7. Шнейдер, Ю. Г. Чистовая обработка металлов давлением / Ю. Г. Шнейдер. – М.: Машгиз, 1963. – 270 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Горобец И.А., Голубов Н.В., Игнагов А.Д. (каф. ТМ, ГОУВПО ДОННТУ, Донецк)

Аннотация: Предложены методы повышения производительности и качества поверхности изделий из камня. Рассмотрен характер изменений сил резания при шлифовании изделий из камня. Приведены схемы привода инструмента шлифовального оборудования. Даны рекомендации по способам повышения эффективности процесса шлифования камня.

Ключевые слова: камень, шлифование, производительность, качество, себестоимость.

Камень издавна являлся орудием труда человечества. В настоящее время, изделия из естественного и искусственного камня используются в строительстве (в качестве строительного, облицовочного материала) и машиностроении (в качестве направляющих, станин высокоточных станков, валков бумагоделательных машин и пр.) и в изделиях искусства. В Донецкой области находятся уникальные месторождения природного камня, который можно использовать для развития индустрий и в качестве предмета экспорта. Однако, природный камень продается зачастую не в виде готового изделия, а в виде пиленых блоков. Это объясняется высокой стоимостью готовой продукции выпускаемой большинством камнеобрабатывающих предприятий. Экономически целесообразно экспортировать готовую продукцию, требующие только финишной обработки. Повысить конкурентоспособность готовой продукции можно, повышая производительность технологических процессов обработки, одновременно снижая себестоимость обработки.

Себестоимость готовой продукции во многом определяется трудоемкостью обработки [1].

$$C_{T_{мех}} = \sum_{i=1}^k c_{cm_i} (t_{x_i} + t_{m_i}) + \sum_{i=1}^k c_{np_i} t_{np_i} \left(\frac{t_{m_i}}{T_i} \right) + \sum_{i=1}^k \frac{C_{u_i}}{h_{кр_i}} \left[I_i t_{m_i} + I_{np_i} t_{np_i} \left(\frac{t_{m_i}}{T_i} \right) \right] + c_{тр} \frac{(R_{z_{мех}} + h_{д_{мех}})}{v_{тр}}, \quad (1)$$

где $C_{T_{мех}}$ - себестоимость обработки абразивным инструментом, c_{cm_i} , c_{np_i} , $c_{тр}$ - соответственно стоимости одной минуты: эксплуатации станка, правки круга, процесса травления; t_{x_i} , t_{m_i} , t_{np_i} - соответственно для i -й операции механической обработки (i меняется от 1 до k): время простоя, приходящееся на одну деталь, машинное время обработки, время правки круга; C_{u_i} , T_i - соответственно стоимость и стойкость круга; I_i , I_{np_i} - соответственно линейный износ круга, отнесенный к одной детали, зависящий от режимов: шлифования, правки; $v_{тр}$ - скорость удаления нарушенного обработкой слоя изделия, состоящего из $R_{z_{мех}}$, $h_{д_{мех}}$ - соответственно высоты неровностей и глубины дефектного поверхностного слоя, оставшихся после последней операции механической обработки.

Из анализа (1) можно сделать вывод, что снижение себестоимости обработки возможно за счет уменьшения трудоемкости каждой операции или уменьшения числа операций.

Однако, число технологических операций определяется не столько точностью обработки, сколько достижением требуемой величины макро- и микронеровностей обработанной поверхности.

Допускаемая величина макронеровностей определяется прежде всего волнистостью, бочко-, седлообразностью обрабатываемой поверхности. Величина волнистости на пиленом блоке природного камня достигает 5 мм [2], на блоке, подготовленном к обдирке до 2мм. Это повлечет за собой колебания величины припуска на механическую обработку, осуществляемую многократным шлифованием и полированием.

Одним из факторов определяющим правильность геометрических форм обработанной поверхности являются упругие деформации Δ элементов СПИД под действием сил резания. При известной жесткости j СПИД величину этих деформаций будет определять усилия резания P .

$$\Delta = j (P \pm \Delta P) = \Delta_{\text{ср}} \pm \Delta_{\text{к}}, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{ср}}$ - средняя величина деформаций в системе СПИД, $\Delta_{\text{к}}$ - величина деформаций системы СПИД обусловленная наличием неравномерности усилий резания ΔP .

Величина макронеровностей обработанной поверхности изделия в основном и будет зависеть от величины $\Delta_{\text{к}}$, которая определяется неравномерностью силы резания ΔP . Поэтому целью повышения качества обработанной поверхности является снижение макронеровностей, а, следовательно, и изменения усилий резания.

Изменение силы резания P при равенстве прочих параметров определим, как

$$\Delta P = f(\Delta z; \Delta HV; h_{\text{д}}) \quad (3)$$

где Δz - колебание припуска заготовки; ΔHV - колебания твердости поверхности заготовки, $h_{\text{д}}$ - состояние и величина дефектного слоя, обусловленного трещиноватостью, упруго-напряженным состоянием и т.д.

Усилия резания при шлифовании природного камня можно представить в виде

$$P_{\text{y}} = C z^a v_{\text{кр}}^b (HV)^d h_{\text{д}}^e s_{\text{д}}^g, \quad (4)$$

где C, a, b, d, g, e - постоянный коэффициент и показатели степени, $v_{\text{кр}}$ - скорость вращения круга, $s_{\text{д}}$ - скорость перемещения заготовки относительно абразивного круга.

Влияние изменения подачи и скорости резания на качество обработанной поверхности можно учесть, введя систему ограничений

$$\left. \begin{array}{l} s < [s], \\ v > [v]. \end{array} \right\} \quad (5)$$

где $[s], [v]$ - предельная подача режущего инструмента, допускаемая требованиями по качеству обработанной поверхности и износу инструмента и скорость резания, допускаемая требованиями по качеству обработанной поверхности и стойкости инструмента.

Вместе с тем, абразивный круг при шлифовании плоском шлифовании торцом совершает два движения: D_r - главное (вращение круга) и D_f - движение подачи (рис. 1а). При этом одиночное зерно оставит царапину, форму которой упрощенно можно показать в виде дуги (рис. 1б). Одним из эффективных методов уменьшения шероховатости обработанной поверхности является придание инструменту дополнительных колебательных движений. Наличие у инструмента большей подвижности обеспечивает удаление зернами абразивного инструмента вершин микронеровностей и уменьшение за счет этого шероховатости.

С другой стороны, сила резания, возникающая при шлифовании, имеет динамический характер, что обуславливает наличие в СПИД автоколебаний.

Принимая изменение силы резания пропорциональным изменению величины припуска, можно выражение этой силы представить в виде разложения в ряд Фурье [3,4]:

$$P(\tau) = C_p \left[p_0 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n \cos n\tau + b \sin n\tau \right], \quad (6)$$

где C_p – силовой коэффициент, учитывающий различные факторы процесса резания; p_0 – постоянная составляющая силы резания.

Предполагая, что возникновение вынужденных колебаний в зоне резания обусловлено теми явлениями, которые оказывают наибольшее влияние на изменение величины припуска, и ограничиваясь первым членом ряда, указанное выше выражение можно представить в виде:

$$P(\tau) = C_p [p_0 + \Delta P(\tau) \cos(\lambda\tau + \varphi)], \quad (7)$$

где $\Delta P(\tau)$ – амплитуда силы резания; λ – частота изменения этой силы; φ – сдвиг фазы.

На амплитуду силы резания будет оказывать влияние, как изменение припуска,

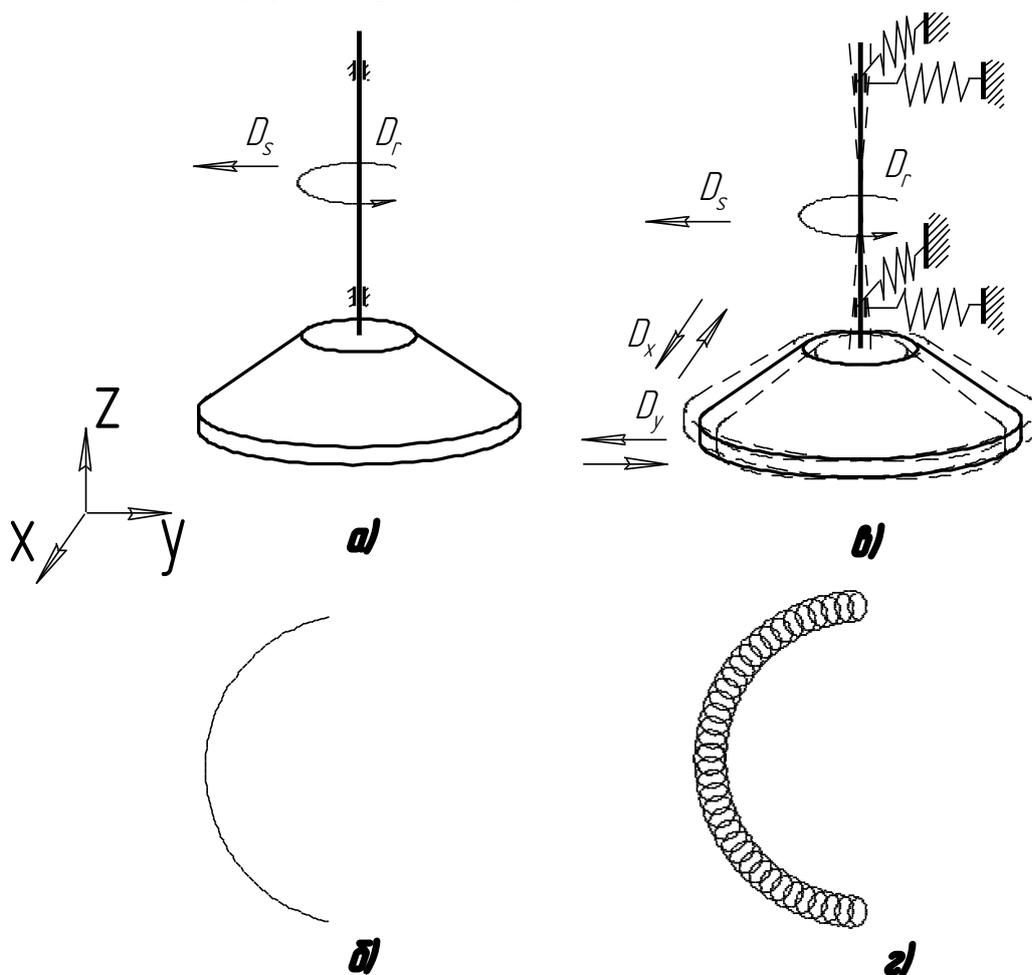


Рис.1. Движения, совершаемые абразивным кругом (а - обычная обработка, в – с дополнительной прецессией) и форма царапины одиночного зерна на обработанной поверхности (б - обычная обработка, г – с дополнительной прецессией).

так и изменение поверхностной твердости заготовки в процессе резания, изменения структуры и глубины дефектного слоя (трещиноватости, напряженного состояния поверхности и пр.). Изменения твердости поверхности, глубины и характера дефектного слоя носят случайный характер. Таким образом, и сила резания также будет случайной функцией, а стандартный вид дифференциального уравнения в этом случае будет описывать динамическую систему со случайным возмущением.

Колебания силы резания можно использовать как источник автоколебаний шлифовального круга [5]. Для реализации этих колебаний необходимо ослабить жесткость установки подшипников шпинделя станка. Форма царапины одиночного зерна станет более сложной и упрощенно показана на рис. 1г. За счет наличия этих движений срезаются верхушки микронеровностей, сформированных соседними зернами

Таким образом, и сила резания также будет случайной функцией, а стандартный вид дифференциального уравнения в этом случае будет описывать динамическую систему со случайным возмущением.

Колебания силы резания можно использовать как источник автоколебаний шлифовального круга [5]. Для реализации этих колебаний необходимо ослабить жесткость установки подшипников шпинделя станка. Форма царапины одиночного зерна станет более сложной и упрощенно показана на рис. 1г. За счет наличия этих движений срезаются верхушки микронеровностей, сформированных соседними зернами

Таким образом, повышение эффективности шлифования природного и синтетического камня возможно за счет снижения:

1. Себестоимости обработки облицовочного природного камня путем уменьшения числа технологических операций необходимых для достижения требуемого качества поверхности.
2. Шероховатости обработанных поверхностей, используя автоколебания режущего инструмента и придания ему дополнительного прецессирующего движения.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Особенности формирования дефектного слоя при абразивной обработке конструкционных изделий из материала на основе стекла./ Михайлов А.Н., Калафатова Л.П.// Прогрессивные технологии и системы в машиностроении: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонГТУ. 2000. Вып. 17. С. 90-93. 2. Добыча и обработка природного камня/ Под общ. ред. Смирнова А.Г. – М.: Машиностроение, 1990. – 444с. 3. Горобец И.А. Адаптивная система токарным с ЧПУ станком / Горобец И.А., Голубов Н.В., Болтян А.В., Огинский А.Г.// Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: Сборник трудов VI международной научно-технической конференции в г. Севастополь 11-16 сентября 2000 г. – г. Донецк: ДонГТУ. 2000. Вып. 11 С. 192-195. 4. Gorobez I. Adaptronsysteme in der Werkzeugmaschine für die spanabhebende Formung / Gorobez I., Golubov M.// Entwicklungsmethoden und Entwicklungsprozesse im Maschinenbau: 5 Magdeburger Maschinenbau-Tage.- Berlin, Logos-Verl.,2001,-S.45-51 5. Шепелев А.А. Высокоточное алмазное флифование прецессирующим шлифовальным кругом / Шепелев А. А., Пасичный О. О., Целина В. В., Дуброва А. Е.// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2002. Вып. 22. С. 184-189.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Лось Е.П., Лахин А.М. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г.Донецк, ДНР)
Тел./Факс: +38 (062) 3010805; E-mail: egorich222247@gmail.com

***Аннотация.** В статье приведены данные по исследованию и совершенствованию методов обработки деталей червячных передач. Автором было проанализировано конструкция червячной передачи. Были рассмотрены виды червячных передач, их плюсы и недостатки. Исследованы особенности обработки деталей червячных передач*

***Ключевые слова:** червяк, червячное колесо, обработка, фреза, исследование.*

1. Введение

В условиях современного состояния промышленности важнейшими задачами развития технологии машиностроения является повышение производительности технологических процессов и качества выпускаемой продукции, снижение себестоимости изготовления единицы продукции а также повышение уровня автоматизации производства. Эти задачи можно решить в том числе за счет усовершенствования методов обработки деталей.

В промышленности широкое распространение получили червячные передачи, обладающие рядом преимуществ, в частности: высоким передаточным отношением, возможностью самостопорения, простоты конструкции. Однако технологии производства основных деталей данной передачи, червяков и червячных колес, недостаточно эффективны и нуждаются в совершенствовании.

Поэтому целью данной работы является совершенствование способов производства деталей червячных передач за счет выбора рациональных параметров инструмента и настройки станка.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Выполнить анализ конструкцию и принципа действия червячной передачи;
- 2) Исследовать особенности нарезание червяков;
- 3) Исследовать особенности нарезание червячных колес;
- 4) Выбрать методы, позволяющие повысить эффективность изготовления червяков

2. Основное содержание и результаты

работы

Червячная или, как ее также называют, зубчато-винтовая передача представляет собой механическую конструкцию, состоящую из зубчатого колеса и специального винта с резьбой - червяка . Червячное колесо — это представитель класса колес косозубого типа. Механическая передача осуществляется за счет зацепления конусовидного червяка об зубчатое колесо. Основным рабочим органом механизма является червяк (винт с резьбой). Червяк может иметь один или несколько заходов (как правило, от одного до четырех), направление движения может быть разным: правым или левым.



Рис. 1. Общий вид червячной

Виды червячных передач

Условно можно разделить червячные передачи на две большие подгруппы:

- Цилиндрические червячные передачи;
- Глобоидные червячные передачи.

Отдельно можно разделить цилиндрические червяки на различные подвиды, в зависимости от формы профиля резьбы:

- Архимедов червяк — трапецевидный профиль с архимедовой спиралью в торце;
- Конволютный — трапепидальный профиль;
- Эвольвентный — эвольвентный профиль;
- С вогнутым профилем витков.

Преимущества червячных передач.

Тихие и плавные в работе данные передачи — это идеальное решение для управления низкомоментными силовыми установками. Компактные размеры позволяют уместить механизм даже в самые ограниченные пространства: это может быть как рулевая часть транспортных средств, так и, например, музыкальные инструменты с толковыми механизмами. Отдельно стоит обратить внимание на свойство самоторможения: оно обеспечивает функцию самоторможения без участия дополнительных устройств управления.

Недостатки червячных передач.

Основным недостатком червячной передачи является невысокий КПД, связанный с потерями мощности, присущими любой винтовой паре. Использование данной конструкции подразумевает обязательное применение антифрикционных материалов, исключение которых обычно быстро приводит к заеданию зубцов. Передаваемые мощности не превышают 200 кВт, что в значительной степени ограничивает области применения данных устройств.

Данные механизмы склонны к быстрому износу, как следствие - ремонт и повышенные требования к регулярному техническому обслуживанию, что невыгодно для некоторых решений с экономической точки зрения.

Методы обработки деталей червячной передачи

Простейшим видом обработки червяков является нарезание их на токарном станке резцом с прямолинейным профилем. Для получения правильного профиля витков профиль резца должен иметь контур впадины между зубьями червяка в определенном его сечении и совмещаться при нарезании с плоскостью этого сечения.

Чтобы получить архимедов червяк, профиль резца с прямолинейными кромками должен быть совмещен с плоскостью, проходящей через ось червяка.

Эвольвентный червяк нарезают двумя резцами, профили режущих кромок которых совмещаются с двумя плоскостями, расположенными касательно к поверхности основного цилиндра с двух сторон.

Конволютный червяк нарезается резцом, установленным своим профилем в плоскости, параллельной оси червяка, выше или ниже ее на определенную высоту или наклонно к ней, с совмещением оси симметрии профиля резца с осью червяка.

Глобоидный червяк нарезают резцом с прямолинейной режущей кромкой, при этом ось резца вращается синхронно с нарезаемым червяком для воспроизводства относительного движения профилей зубьев червяка и червячного колеса в зацеплении. *Этот вид червяка обрабатывают на зубофрезерном станке.*

Червяки нарезают также профильным резцом и фрезами на фрезерных и зубофрезерных станках. Нарезание червяков дисковой фрезой — более производительный способ обработки, но при этом искажается профиль червяка в результате подрезки, возникающей из-за различия углов подъема витка у основания и вершины, особенно у многозаходных червяков.

Различные виды червяков можно нарезать червячной фрезой на обычных зубофрезерных станках. Так, при обработке червячной фрезой с прямолинейными режущими кромками зуба изготовляют эвольвентные червяки. Для нарезания архимедовых и конволютных червяков применяют специальные червячные фрезы с криволинейным профилем режущих кромок. *Этот способ обработки при высокой производительности требует наличия сложного инструмента; так как он приводит к искажению профиля поверхностей витков червяка, то его применяют для предварительной обработки.*

Червячные колеса нарезают на зубофрезерных станках червячными фрезами тремя методами:

- радиальной подачи;
- тангенциальной подачи;
- комбинированным методом.

При методе радиальной подачи заготовка, находясь все время в зацеплении с червячной фрезой, подается в направлении фрезы до установленного размера, при этом фреза совершает только вращательное движение. *На червячном колесе получается правильный профиль зубьев при полном зацеплении червячной фрезы с заготовкой.* Этим методом нарезают зубья червячного колеса на обычном зубофрезерном станке без дополнительного специального суппорта.

При методе тангенциальной подачи заготовку червячного колеса устанавливают на размер межцентрового расстояния и фрезу вводят в зацепление с заготовкой, перемещая ее в осевом направлении. В процессе резания фреза не только вращается, но и перемещается поступательно по оси. При этом заготовка кроме основного вращательного движения, связанного с зацеплением, должна иметь дополнительное вращательное движение, скорость которого зависит от осевого перемещения фрезы, иначе зубья фрезы будут срезать зубья заготовки.

Комбинированный метод нарезания червячных колес представляет собой последовательное сочетание методов радиальной и тангенциальной подач, причем первый применяют для предварительного нарезания зубьев, а второй — для **окончательной обработки.**

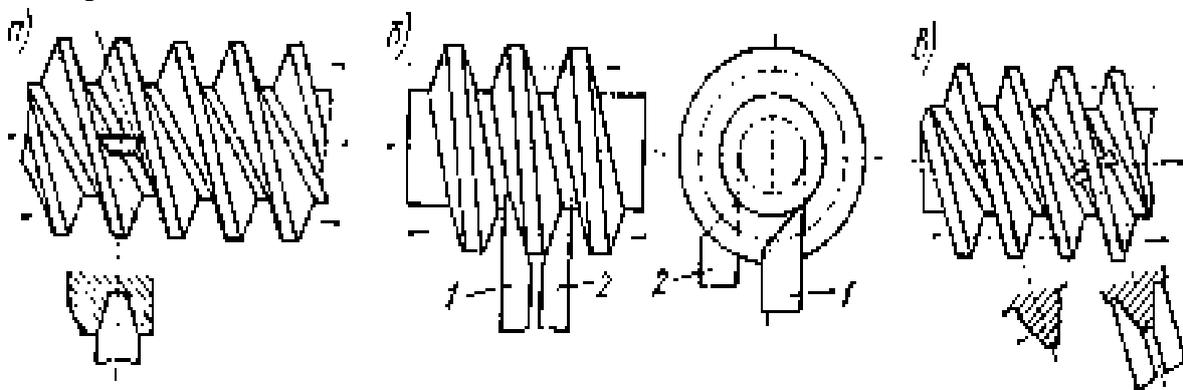


Рис. 2. Разновидности методов обработки цилиндрических червяков

Разновидностью цилиндрического червяка является эвольвентный червяк (рис.2, б). Он представляет собой как бы цилиндрическое зубчатое колесо с эвольвентной винтовой поверхностью. В сечении червяка плоскостями, перпендикулярными оси основного цилиндра, получаются эвольвенты, от которых этот червяк и получил свое название. Червячные пары с эвольвентными червяками часто используют в ответственных передачах при больших нагрузках и скоростях, но изготовление таких передач требует применения специального оборудования и сложных методов обработки.

Эвольвентный червяк нарезают двумя резцами 1 и 2 (рис.2, б), профили режущих кромок которых совмещаются с двумя плоскостями, расположенными касательно к поверхности основного цилиндра с двух сторон. По мере увеличения диаметра основного цилиндра установка резцов выше и ниже центра вызывает определенные трудности вследствие изменений углов резания, поэтому при нарезании эвольвентных червяков применяют профильные резцы, соответствующие контуру нормального сечения впадины червяка с установкой плоскости профиля нормально к ее оси.

3. Заключение

Таким образом, было проанализирована конструкция и принцип работы червячной пары. Было исследованы особенности методов обработки и выяснили, что данные методы являются основными. Выявлены аналитические зависимости, связывающие геометрические параметры червяков и режущей части инструмента при различных ее положениях относительно нарезаемой заготовки. Были определены необходимые методы обработки деталей червячной пары.

Список литературы: 1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1. / под ред. А. Г.Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1986. –656 с. 2. Обработка металлов резанием: справочник технолога / под общ ред. А. А. Панова. – Москва: Машиностроение, 1988. – 736 с. 4. Машиностроение. Энциклопедия .Технология изготовления деталей машин Т. III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Сулова. М.: «Машиностроение» - 2000. 840 с, ил.

ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

Пилипенко В.В. (каф. ОМД, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Приходченко Е.И. (каф. Социологии и политологии, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье приведены наиболее популярные системы управления обучением. Разобраны их основные особенности, рассмотрены преимущества и недостатки.

Ключевые слова: педагогика, системы управления обучением, Blackboard Learn, Canvas, Moodle.

Введение. Дистанционная форма обучения прочно закрепилась как самостоятельная форма обучения со своими методами и технологиями обучения, которая для своей реализации активно использует средства сети Интернет и достижения в области развития цифровых технологий. Повышенный интерес со стороны образовательных учреждений и коммерческих организаций к дистанционной форме обучения привел к бурному развитию систем управления обучением (от англ. Learning management system – LMS). В связи с этим остро стоит проблема выбора той или иной системы с учетом качества предоставляемых услуг и ценовой политики.

Целью работы является рассмотрение наиболее популярных в мировой практике представителей систем управления обучения, анализ их возможностей, выявление преимуществ и недостатков.

Основное содержание статьи. Как отмечается, развитие цифровых технологий подталкивает сферу образования к внедрению инноваций [1]. Дефицит свободного времени, необходимость повышения квалификации, желание получения дополнительного образования рождает спрос у обучающихся на дистанционную форму обучения.

Развитие рынка цифрового образования поддерживается инвестициями в образовательные проекты университетов и коммерческих организаций. Отмечается рост спроса в онлайн репетиторах и моделях повышения квалификации персонала [2].

Системы дистанционного обучения можно разделить на три типа по сегментам рынка электронного обучения: образовательные (академические), корпоративные (направлены на обучение персонала компаний), тренинговые (направлены на предоставление индивидуального образования). Активными пользователями технологий дистанционного обучения являются высшие учебные заведения, которые активно внедряют системы управления обучением [3].

Под системой управления обучения следует понимать программное приложение либо набор программных продуктов, с помощью которых осуществляется разработка учебных курсов, их размещение, управление учебным процессом, мониторинг знаний и автоматизация учебного процесса при дистанционной форме обучения.

Одними из мировых лидеров среди систем управления обучением являются Blackboard Learn, Canvas и Moodle. Причем система Moodle нашла наиболее широкое применение в университетах Европы, а системы Blackboard Learn и Canvas активно используются образовательными учреждениями Северной Америки, Австралии и Великобритании [4, 5].

Blackboard Learn – платная коммерческая система, созданная компанией Blackboard Inc. в 1998 году. Является интерактивной платформой взаимодействия препода-

вателя и студентов между собой. В системе осуществляется создание электронных учебных курсов, редактирование их содержания, предоставление доступа студентам к разработанным курсам, а также управление и контроль учебного процесса. Работа с системой осуществляется через браузер, а сама система представлена в виде веб-страницы. В систему интегрирован видеопроигрыватель для работы с видео файлами, а также специализированный текстовый редактор, который позволяет работать с загружаемыми текстовыми файлами и форматированием содержимого. В связи с ограничением на размер размещаемых видеоматериалов система предусматривает послания на открытые видео хостинги. Достоинством системы является поддержка групповых видеоконференций онлайн, чатов и форумов [6].

Система обладает разнообразными инструментами оценивания знаний, а также сбором статистики прохождения учебного материала и результатов выполнения заданий. Задания могут быть сформированы в каталоги в зависимости от темы и сложности вопросов, с помощью которых у преподавателя имеется возможность быстро составить индивидуальное задание для каждого студента. В системе также реализована возможность составления групповых текстовых заданий [7]. Причем реализована гибкая настройка условий прохождения заданий студентами. Для активизации их познавательной деятельности можно создать тренировочные задания, доступные для прохождения неограниченное количество раз с возможностью их прерывания для более углубленного изучения вопросов, вызывающих затруднения. Для итоговой оценки знаний можно создать условия единоразового, ограниченного во времени выполнения задания без возможности его прерывания [8]. Система позволяет автоматизировать деятельность учебного заведения в образовательном процессе, и больше ориентирована на совместную деятельность участников образовательного процесса, что способствует поддержанию благоприятной творческой среды.[9]

Так, на базе платформы Blackboard Learn Запорожской государственной инженерной академии выполнена разработка структурированного курса «Компьютерные биомедицинские системы», содержание которого было разделено на четыре модуля. Изучение курса предусматривает ознакомление с теоретической частью, выполнение теоретических и практических заданий по каждому из модулей, прохождение контрольных мероприятий в виде тестов и участия в форуме. Апробация разработанного курса позволила повысить качество обучения и эффективность учебного процесса. С положительной стороны отмечается наличие интегрированного интерактивного графического редактора, имитирующего работу классной доски [10]. До весны 2019 года занимала лидирующую позицию в США, но высокая стоимость, проблемы со стабильностью работы, низкая сопротивляемость взлому подталкивают пользователей к выбору более стабильных и дешёвых аналогов.

Canvas – система, разработанная компанией Instructure в 2011 году в качестве замены системы Blackboard. Является второй по популярности платной системой управления обучением после Blackboard [5]. Позволяет разрабатывать и размещать электронные курсы самим преподавателям, создавать вики-страницы, тесты и задания. Благодаря открытому API (Интерфейс прикладного программирования) обладает гибкой настройкой и позволяет работать со сторонними приложениями. Система выполняет сбор статистики успеваемости каждого студента, поддерживает проведение видеоконференций и обсуждений, совместное редактирование документов. Canvas позволяет выполнить структурированную разбивку курса на модули, причем внутри модуля можно организовать дискуссионный форум, что стимулирует активное общение и развитие критического мышления. Система позволяет настроить условия выполнения за-

дания по окончанию модуля, регламентировать время выполнения задания и его сдачи [11, 12]. Стоимость Canvas несколько меньше Blackboard, а также компания Instructure проводит регулярные внутренние аудиты для выявления проблем с безопасностью [11]. К недостаткам системы следует отнести проблемы, связанные с размещением файлов в системе. Отсутствуют предупреждающие уведомления при возникновении ошибок при загрузке файлов, а также при превышении ими ограничений размера файла. Отмечается низкая скорость загрузки файлов [13].

Moodle – это бесплатная система управления учебным процессом, разработанная в 2001 году и предназначенная для разработки дистанционных курсов. Работа системы осуществляется с использованием сети Интернет. В Moodle возможна реализация дистанционной формы обучения, проведение курсов повышения квалификации и переподготовки кадров. Широкое применение объясняется её универсальностью. Moodle распространяется с открытым исходным кодом, что предоставляет возможность пользователям настроить систему под их нужды. Обеспечивает взаимодействие между участниками учебного процесса и при должной настройке не уступает по функционалу платным системам [4].

С 2010 года в Татарском государственном гуманитарно-педагогическом университете планомерно внедрялась система дистанционного обучения на базе платформы Moodle. Первая апробация разработанных преподавателями учебных курсов дистанционного обучения показала чрезвычайную важность проблемы освоения преподавателями работы с системой дистанционного обучения. В этой связи был разработан учебно-методический комплекс, призванный помочь преподавателям ознакомиться с возможностями системы, и помочь в составлении и переводе учебных курсов в формат дистанционного обучения. Анализ результатов показал, что у слушателей, посетивших 50-80% занятий, сложилось понимание создания курсов дистанционного обучения, а посетившие более 80% занятий были готовы к самостоятельной разработке курсов дистанционного обучения [14].

Среди недостатков системы следует отметить её непривлекательный для пользователя интерфейс и перегруженность информацией, что может снижать скорость работы в системе [4]. К тому же, работа в системе требует четкого понимания её функционирования и технических особенностей размещения материалов [15]. Основная проблема системы состоит в её настройке. В случае её внедрения силами образовательного учреждения на настройку может понадобиться от одного года до двух лет. Расходы, связанные с привлечением сторонних компаний для настройки системы могут составить внушительную сумму, которая сопоставима со стоимостью покупки платных систем управления обучением, настраиваемых и поддерживаемых производителем [16].

Заключение. Рассмотренные системы являются лидерами в области электронного образования. Во избежание непредвиденных затрат следует сразу оценить готовность учебного заведения к внедрению системы управления обучением. В случае неготовности преподавательского состава к работе с такой системой, решение видится в их переподготовке. В случае неготовности настройки системы силами учебного заведения под требуемые нужды решение видится в приобретении системы, настраиваемой и поддерживаемой компанией-производителем. Системы позволяют обойти дефицит профессорско-преподавательского состава, компенсировать пропущенные студентами занятия при смешанной форме обучения.

- Список литературы :** 1. Манукян, Л.А. Сравнительный анализ платформ для дистанционного обучения / Л.А. Манукян // Ученые записки Тамбовского отделения РосМУ. – 2018. - №12. – С. 212 – 217. 2. J'son&PartnersConsulting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-onlayn-obrazovaniya-v-rossii-i-mire-20161206051155 3. Батаев, А.Б. Обзор рынка систем дистанционного обучения в России и мире / А.Б. Батаев // Молодой учёный. – 2015. - №17 (97). – С. 433 – 436. 4. Зенина, Л.В. Применение автоматизированных систем управления обучением в вузе (на примере преподавания английского языка) / Л.В. Зенина // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2018. - №11 (89). – Ч.1. – С. 199-204. 5. Edutechnica. EdTech Talk and Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edutechnica.com/2020/02/02/lms-data-spring-2020-updates/> 6. Неупокоев, А.С. Системы дистанционного обучения: обзор и перспективы развития / А.С. Неупокоев // Экономика. Право. Менеджмент. Сборник трудов молодых исследователей БГУЭП. – 2014. –Т.1. – №1. – С. 41-45. 7. VP GROUP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vpgroup.ru/blackboard_learn.aspx 8. Косырев, С.В. Эффективное использование ресурсов и инструментов системы «Blackboard Learn» при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» в Санкт-Петербургском государственном университете / С.В. Косырев, И.В. Свитнев, В.Е.Хмелев, И.А. Матысик // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. – 2015. -№1. – С. 130-137. 9. Приходченко, Е.И. Интерактивное обучение как способ формирования творческой среды / Е.И. Приходченко, Н.Н. Капацина, Н.И. Мозутенко // Вестник Донецкого педагогического института. – 2017. – №2. – С. 107 - 112. 10. Киселев, Е.Н. Разработка электронного курса «Компьютерные биомедицинские системы на основе платформы Blackboard» / Е.Н. Киселев // Збірник доповідей учасників конференції «Впровадження нових інформаційних технологій навчання». – Запоріжжя, 2004. – С. 204 – 206. 11. Instructure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.instructure.com/canvas/higher-education/platform/products/canvas-lms> 12. Баданова, Н.М. Использование СДО (LMS) в электронном обучении / Н.М. Баданова, А.Г. Баданов // Школьные технологии. – 2016. – №2. – С. 102 – 108. 13. Canvas Stanford University [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://canvas.stanford.edu/courses/73606/pages/canvas-limitations> 14. Устюгова, В.Н. Особенности внедрения и эксплуатации системы дистанционного обучения в татарском государственном гуманитарно-педагогическом университете / В.Н. Устюгова, Р.А. Валитов, И.С. Ермолаев // Образовательные технологии и общество. – 2011. – Том 14. – №3. – С. 311 – 336. 15. Валитов, Р.А. Технические вопросы и проблемы, возникающие при создании и эксплуатации системы дистанционного обучения на базе Moodle / Р.А. Валитов, Устюгова В.Н. // Образовательные технологии и общество. – 2011. – Том 14. - №4. – С. 342 – 347. 16. iSpring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ispringsolutions.com/blog/moodle-vs-blackboard>

ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ИНЖЕНЕРНЫХ КАЧЕСТВ У СТУДЕНТОВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА В ПРОЦЕССЕ КУРСА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ»

Ломаковский К.Б. (асп. каф. ГМ, ДонНТУ, г. Донецк)

Приходченко Е.И. (д. пед. наук, проф. каф. СиП, ДонНТУ, г. Донецк)

***Аннотация.** В статье указаны основные вопросы при изучении курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования» будущими инженерами-конструкторами проходческих комбайнов. Приведены цели, задачи, получаемые компетенции.*

***Ключевые слова:** подготовка кадров, профессиональные знания, проходческий комбайн, высококвалифицированные кадры, профессиональные компетенции.*

Постановка проблемы.

Важнейшим аспектом развития и независимости любого государства является подготовка высокопрофессиональных инженерных кадров. Для донецкого региона наиболее остро стоит вопрос подготовки квалифицированных инженеров-конструкторов. Это связано с наличием крупных научно-исследовательских институтов и машиностроительных предприятий, занимающихся проектированием и изготовлением современного горного оборудования, как для местных шахт, так и на экспорт. Перед высшими учебными заведениями стоит задача не просто подготовить высококлассных инженеров-конструкторов, а обучить специалистов для ведения инновационной деятельности. На основании чего можем утверждать, что получение высшего технического образования является не просто усвоением некоторого количества профессиональных знаний по узкоспециализированным предметам, а направлено на развитие творческого мышления, и создание нового, более совершенного горного оборудования, отвечающего требованиям мировых стандартов. Поэтому, подготовка высококвалифицированных кадров не может быть осуществлена без важнейшей дисциплины – «Горные машины» и курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования».

Для решения поставленной проблемы должны быть выполнены следующие задачи: изучить литературу по данной проблеме; провести сравнительный анализ взглядов ученых отечественной и зарубежной науки на рассматриваемую проблему.

Научные исследования проблемы.

Проблемой совершенствования учебного процесса занималось большое количество ученых-педагогов, таких как: О.Б. Мешкова, И.Ю. Ткачук, М.Н. Фунтиков, А.В. Хуторской и др.[1-5]. Результаты их трудов направлены на организацию учебного процесса таким образом, чтобы материал, получаемый студентами от преподавателей, усваивался максимально эффективно и в полном объеме. Для этого следует использовать интерактивные методы обучения, которые подразумевают использование натуральных и/или мультимедийных источников информации.

Основное содержание и результаты работы.

Будущие горные инженеры-конструкторы при изучении курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования», как правило, опираются на знания и опыт, полученные ранее при изучении таких дисциплин, как: «Высшая математика», «Физика», «Теоретическая механика», «Сопrotивление материалов», «Теория механизмов и машин», «Электротехника», «Гидромеханика», «Гидро- и пневмопривод гор-

ных машин и комплексов» и т.д. В процессе изучения курса группой студентов было принято решение самостоятельно провести глубокую модернизацию широко известного комбайна проходческого КСП-32.

Для более качественного выполнения данного вида работы потребовалась длительная, настойчивая работа по формированию различных видов мышления - латерального, радиантного, критического, комбинаторно-логического и креативного. Усердная работа преподавателей, и студентов увенчались успехом. Логически выстраивая рассуждения с применением переменных видов мышления, обучаемые убедительно доказывали истинность или ложность какого-либо вывода, проявляли глубину, гибкость, последовательность, широту деятельностных и интеллектуальных качеств.

Для достижения указанной цели данной группой молодых конструкторов сделано следующее:

1. Разработана полностью новая ходовая часть с полным отказом от применения танковых узлов. В новой ходовой части приводная звезда опущена практически на почву, в раму тележки встроены простой редуктор с прямыми зубьями цилиндрическими передачами. Такое решение позволило не только уменьшить высоту ходовой тележки, но и увеличить ширину траков с 550 до 740 мм. Аналогичный редуктор и подобные траки применяются на тяжелом 75-тонном комбайне КСП-42. Проблемы с редуктором и траками там не зафиксированы. Это совершенно надежный узел. За счет ширины траков удельные давления на почву комбайна КСП-34(35) снизятся с 0,15 МПа до 0,13 МПа и это при том, что массу комбайна мы сознательно увеличим с 45 до 50 тонн. Рост массы положительно скажется на устойчивости машины и на эффективности разрушения крепких пород.

2. На 200 мм опустится исполнительный орган вместе со своей подвеской, на эти же 200 мм снизится высота всего комбайна. При этом очевидно, что исполнительным органом зажимается место для погрузочного органа - питателя. Как ни странно, но за счет правильного выбора геометрии в корпус питателя удалось вкомпоновать ту же проверенную начинку редуктора питателя КСП-42 с минимальными изменениями, и сделать погрузочные звезды. Зазор под стрелой исполнительного органа в нижнем положении составил 200 мм (то же, что и было на КСП-32).

3. Став конвейера пришлось сделать вогнутым для возможности прохода негабаритов под подшипниковым узлом подвески исполнительного органа. Соответственно, скребковая цепь на этом участке проходит в направляющих, исключая ее «всплытие». Решение достаточно традиционное для большинства проходческих комбайнов из дальнего зарубежья. Кроме того, ширина става скребкового конвейера увеличена с 534 до 670 мм и скорость движения цепи с 0,9 до 1,1 м/с. Таким образом, производительность конвейера и в целом погрузки с учетом применения погрузочных звезд вырастет почти в 1,5 раза по сравнению с КСП-32. Вместе с тем, увеличение ширины става снизит время простоев, связанных с пропуском негабаритов через проходное окно конвейера.

4. Неприятным местом в компоновке комбайна КСП-32 в исполнении с подъемно-поворотным конвейером является узел подъема, возвышающийся над уровнем почвы на 2310 мм. Конечно, это недопустимая высота. Это место удалось существенно понизить до приемлемой величины 1990 мм, то есть на 320 мм ниже.

5. Для обеспечения возможности проведения выработок высотой 5 м более низкой машиной, пришлось удлинить горловину редуктора исполнительного органа на 200 мм. Кроме большего размаха стрелы, это решение позволило отодвинуть от режущей ко-

ронки выступающую часть редуктора исполнительного органа и, тем самым, улучшить вписываемость исполнительного органа в низкой выработке.

Результаты данной работы высоко оценены специалистами Ясиноватского машиностроительного завода и проектно-конструкторского института Донуглемаш. Полученные профессиональные знания и компетенции потребуются будущим горным инженерам-конструкторам в дальнейшем, при изучении таких курсов, как: «Эксплуатация горных машин и оборудования», «Техническая диагностика горных машин», «Моделирование рабочих процессов горных машин», «Системы автоматизированного проектирования горных машин», «Аппаратура и методы экспериментальных исследований горных машин и оборудования», выполнении научно-исследовательской работы и прохождении государственной итоговой аттестации.

Заключение.

Таким образом, полученные знания и опыт конструкторских работ в результате изучения курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования», являются основой для будущего горного инженера-конструктора и крайне необходимы ему для дальнейшего трудового развития и профессионального роста. Последующие исследования нацелены на совершенствование учебного процесса и качественную подготовку молодых специалистов.

Список литературы: 1. Мешкова, О.Б. Аспекты развития преподавания специальных технических дисциплин при использовании метода двумерной дидактики [Текст] / О.Б. Мешкова, И.Ю. Ткачук. – Новые исследования в разработке техники и технологий. – Сочи: Из-во Международного инновационного ун-та, 2017. №1. – С. 49-55. 2. Приходченко, Е.И. Организация интегративной среды процесса обучения при подготовке специалистов инженерного профиля [Текст] / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков. – История и перспективы развития транспорта на севере России. – Ярославль: Ярославский филиал ПГУПС, 2018. № 1. – С. 138-142. 3. Приходченко, Е.И. Применение инновационного подхода к повышению эффективности проведения лабораторно-практических занятий [Текст] / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков. – История и перспективы развития транспорта на севере России. – Ярославль: Ярославский филиал ПГУПС, 2017. Т. 1. № 1-1. – С. 181-185. 4. Фунтиков, М.Н. Анализ использования средств информационно-коммуникационных технологий в формировании современной доктрины инженерного образования [Текст] / М.Н. Фунтиков. – Вестник Института гражданской защиты Донбасса: научный журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – Вып. 4(4). – С. 59-65. 5. Хуторской, А. В. Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования / А. В. Хуторской // Ученик в обновляющейся школе. – М.: ИОСО РАО, 2002. – С. 135 – 157.

TOWARDS META-PEDAGOGY

Dzhura S.G., Chursinov V.I., Chursinova A.A.
(Donetsk National Technical University, the DPR)
Tel. +380 (62) 301-08-25. E-mail: dzhura@inbox.ru

Summary: *This work analyzed modern trends in the development of pedagogical thought and justified the interdisciplinary approach of meta-pedagogy. The challenges of modern society are considered and the vector of development of world pedagogy is shown. Practical recommendations for achieving the goals of the Russian World are given.*

Keywords: *Russian cosmism, meta-pedagogy, meta-physics, meta-civilization, meta-science.*

Introduction: The development of any society, its success and purposefulness depend to a large extent on pedagogical activity which is to meet current challenges. We have spoken about it several times [1-8]. According to modern tendencies in the pedagogical thought development [9, 10] we think it is time to correct accents in new pedagogic which is being formed now including the Donetsk people's Republic (with all remarkable traditions of the Russian and global pedagogical thought). We would like to offer its working title which is meta-pedagogic.

The matter is that human mind is the object of pedagogic research. It is a mysterious substance which is yet to be introduced into the scientific circulation. That is this is a sphere of human psychic invisible with usual means. It is beyond classical science and enters the sphere which used to be called meta-physics ("meta"- extending beyond, dating back to Aristotle and his "Metaphysics"). However today there are a lot of similar tryouts in related sciences (having the prefix "meta"), which makes it possible to speak about the synthesis the best achievements to enter a new level of the modern pedagogical thought to form the adequate answer to the time challenges. From our point of view it is meta-pedagogic that gives the answer. What tryouts of the related sciences are we talking about? First of all it is meta-mathematics based on the theory of centaurs developed at MHTU named after N. Bauman [11], meta-physics based on the universe polarization theory [12], and meta-chemistry [13], meta-philosophy [14] and meta-civilization [15]. These approaches are generalized and synthesized in [16] and [17]. That is there is a meta-system, integral, Trinitarian approach of post-non-classical science. The vector of development of this pedagogic being the optimization task of humanity formation is the most important thing in the problem formulation.

Problem statement: We share the point of view of our Russian colleagues on "Value fundamentals of the society in which a modern scientist grew up and was formed define the method of his research and understanding of the subject-matter even if he strives toward the research objectivity and credibility. However not all researchers strive toward it. The science subordinated to the market conditions, working according to orders and meeting customer's political and commercial interest is the rule in the current world". That is today's science is acting as a waiter standing in a bow in front of moneybags asking "Can I help you?" The situation is said and it is to be changed immediately.

The mission of the Russian World in science: The first president of the Russian Space Society Prof. B. Bolshakov took it out from the universe philosophical depth: "There are a lot of scientific schools in the world but only three of them are global: the western scientific

school, the eastern philosophical school and the Russian scientific school” [17]. The western centric world view originates from the philosophy of the west which is followed by the corresponding economic, social and political model. Nowadays the approach (which is thought to be the only one by some people) is suffering an incredible crisis because the model is the analogue of a cancer tumor [19]. The model future is expressed by the concept of Gold billion. The problem statement is unacceptable for the majority of people. The western researchers have already noticed it [20].

The eastern philosophical school is diametrically opposed to the western one. The western philosophical concept is based on the primacy of the material over the spiritual which is expressed even in the language [21]. The eastern philosophical school emphasizes the primacy of the spiritual. The concept is followed by its own social, political and future model.

What is the concept of the Russian scientific school on a global scale? It is the concept of the middle way between such extreme positions of the West and the East. We think that western technologies should be taken to implement eastern goals and synthetically introduce them into the Big Russian World as it is not the “underdone west” as our opponents are trying to make us think, but it has the great future that is commanded by many genii and prophets and expressed in the meta-approach concept [22]. We will try to develop it in the paper.

Western centric nature of the current science is caused by historic processes and it is overcome, for example, in the paper of S.R. Ableev, the first Ph.D. who defended his dissertation on the Roerich’s family philosophical heritage [23]. A number of papers of the Russian Space Society’s researchers [24, 25] provide scientific base of the western science hopelessness and variants of the development of the Russian one. The mission of the Russian scientific school is in separating the wheat from the chaff in western technologies, synthetically using it to achieve goals put forward by the eastern philosophical school and implementing it in the frameworks of the scientific school in Russia and then globally. Economic and political models will follow it. It has been worked out and needs to be reflected [24], in particular the concept of brotherhood and noospheric and spiritual socialism, the only model which will allow the Big Russian World to survive [25].

The world order concept task statement has been given by the leader of the Big Russian World V.V. Putin: “The problems which appeared in the world in previous years are related to the world’s uni-polarity caused by the Soviet Union collapse. Now everything is being renewed and the world is getting, if not has already become, multi-polar. It will inevitably lead us to the necessity to restore the significance of the international law and international universal institutions such as the UNO”, the Russian leader said [26]. It is the multi-polarity that the Russian philosopher and humanist E.I. Roerich spoke about in her letter to the USA’s President F. Roosevelt on 04.02. 1935 [27]: “The president can accept the Happiness Advice. Let President’s power be used to strengthen the situation. His firm hand can direct his people to the union which can create the world balance. Little measures can be taken, but we should strive to the great ones. We are sending the message which can strengthen president’s will and bring it into line with the rays of the Enlightened. The people of America are to enter the New Epoch. The so-called **Russia is the equitable balance to America and it is the only construction under which peace all over the world will be a solved problem.** The refusal from the highest principles cannot provide protection”. It is said a lot about the Mission of Russia in the Heritage of the Great Family of Roerich [28], and it is gratifying that above mentioned points of view correlate.

Scientific basis for the meta-approach: “There are two important results in Godel’s works: impossibility to prove mathematically consistency of a rather a wide system (economics, politics and philosophy can be classified like that) which includes all arithmetic in the frameworks of the system itself and existence of the crucial lack of possibilities of the axiomatic approach. Not a single solution of the arithmetic system can make it complete. Both contradictions can be solved only on the basis of meta-theories and **meta-approach**. Although the results are proved for arithmetic, as so often was the case, they have the general methodological character and can be applied to any system”. [29] Therefore we offer the term of meta-pedagogic.

Crucially important context of the problem is the fact that there are two simultaneous processes in the world: one (knowledge images) is aimed at creating of more adequate world images to broadcast them into all levels of the social pyramid further on and to provide its continuous growth (development or evolving); the other one is opposite and directed to the regression processes in the pyramid to test it on sustainability. Each participant of the processes is free to choose the party he would like to support”. [10] The growing number of wars, floods, earthquakes and psychic diseases of not only an individual but also of countries is characterized by infection (the example of Ukraine is a very bright one). The fact proves that there is a war in the invisible world of senses and we are to win it on the earth as our fathers and grandfathers did and as it was commanded to the current generation of fighters for the Big Russian World. We are the participants of a difficult, ancient, uncompromising mystical battle between western hucksters and true heroes of the East. The proactive knowledge or the fabulous sword is of paramount importance in the war (here we are passing to the sphere of meta-sciences). It is the knowledge which will make it possible to beat the “superhuman strength”, as it is specified by the Russian Space Society (RSS) [30], which is opposed to the Russian World. It is the superhuman strength that calculated our fragmentation even inside one movement, one religion and one organization, to say nothing of a state and the entire humanity. One step to use the principle “divide and rule” by the strength is dangerous. We feel it in Donbass. That is why we think we should listen to the commanded proactive meta-knowledge. Today the meta-knowledge is called the Ethic Gnosis of the East which involves such philosophical ethic systems as Agni Yoga, THE, and theosophy.

The instrumental method to solve the problem has been discussed in a number of papers [31-33] and all interested are invited to take part in our project “GDV-technology Ethic Vector” [34]. The words of a remarkable researcher A. Yanshin (the RAS academician, the chairperson of the academic board of the RAS in biosphere issues, the President of the Russian Ecological Academy, the advisor of the RF’s President) are the research basis for the issue development in the light of the meta-pedagogic concept. He said: “While comparing the fundamentals of all numerous religions we make sure that they are totally similar... We can assume that Christ would recognize Agni Yoga as his doctrine, his striving to correct the humanity is close to Roerich’s advocacy which is stated in the books of Agni Yoga and Elena Roerich’s letters... I think that the educated humanity will gradually accept Roerich’s doctrine as the global ethic system. <...> Agni Yoga is the moral foundation to unite the humanity”.

Conclusions:

1) The epoch of uncontrollable growth of technosphere capability, computing possibilities, intellectualizing and digitizing which do not provide their main goal fulfillment – creation of the conditions to form a creative person able to implement his creative abilities in the name of life development and conservation is coming to its end. They do not give the answer

to the question “Why does the nature need man?” and lead to the question “Why do technosphere and technocenosis need man?” The answer “There is no need” is inevitable. The “growth limits”, “transhumanism”, “technological singularity”, and the “history end” result from it.

2) The humanity with its dominating need to “take”, using life without any limits, killing the biosphere and biocoenosis, flora and fauna, the humanity which is not trained to approach to terra forming scientifically, and interact with the nature which has given birth to it from biospecific, homeostatic and symbiotic point of view is being replaced by the noospheric space rational civilization of co-creativity and cooperation in the system of “space-nature-society-man” in which the need “to give” prevails.

3) The cognition of the “man’s subtle world” in the frameworks of the system of global imperialism and technological achievements can turn into the weapon to control the man totally.

4) The historic period of social Darwinism in which the death cult is raised to absolute and the surrounding information reality is aimed at forming the illusion of the entire degradation and decline and competition ad battle of all against all is coming to its end.

5) Besides the scientific and technical revolution the humanity urgently needs the spiritual and moral one in which the GDV-technologies will play a significant role.

References: 1. P.V. Spefanenko, S.G. zhura, A.A. Chursinova. Pedagogic Aspects of Information Technologies on the Noospheric Development Stage// Proceedings of the 5th International scientific Conference “V. Vernadski’s Creative Heritage and Modern Ecological Consciousness Formation” (Vernadski’s Readings). - Donetsk, DonNTU, 2007. – p. 315-319. 2. P.V. Stefanenko, A.V. Levshov, S.G. Dzhura. Distance Learning in the Light of Energy and Information Paradigm// Humanitarian Bulletin. Series: Pedagogic sciences: All-Ukrainian Proceedings. Issue 1. The Ministry of Science and Education of Ukraine. Cherkasi State Technological University. - Cherkasi: CSTU, 2009. – 114-130. 3. S.G. Dzhura. Fundamentals of Synthesis Pedagogic // Eastern-European Journal of Advanced Technologies, №4/2(58), 2012. – p. 18-22. Access mode: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=25&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5puk6PblAhXJR5oKHbVPBfk4FBAWMAR6BAgHEAI&url=http%3A%2F%2Fjournals.uran.ua%2Feejet%2Farticle%2Fdownload%2F4211%2F3974&usg=AOvVaw0LBMuyIcdVcVSOUINlb-WL> 4. S.G. Dzhura. Philosophical Approach to Analyze Current Pedagogic (as applied to Ukraine) // Eastern-European Journal of Advanced Technologies, №4/2(58), 2012. – p. 23-27. 5. O.A. Gudaev, S.G. Dzhura. Intellectual System of Distant Learning of Electrical Engineering Students Based on CREATIVE STUDIO PPS 1.0 // Modern Information Technologies and Innovation Teaching Methodologies: Methodology, Theory, Practice, Problems. Issue 31. – Kiev-Vinnitsa, the Company “Planer”, 2012. p -328-33. Access mode: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj2jKO76vblAhVDA2MBHSD5DIAQFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Ffirbis-nbu.gov.ua%2Fcgi-bin%2Ffirbis_nbu%2Fcgirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF%2FSitmn_2012_31_71.pdf&usg=AOvVaw1FHg3u0-Zo9RUmnYZxNUoO 6. P.V. Spefanenko, S.G. zhura, A.A. Chursinova. Pedagogic Features of Virtual Technologies // Ivan Yefremov and Russian Cosmism”: collection of scientific papers edited by E. Trofimova. - StPb: StPbSIEU, 2012. – p. 346-356. 7. A.V. Levshov, S.G. Dzhura, V. I. Chursibov. Pedagogic Research in the Context of Meta-Civilization //Proceedings of the XXI International Scientific

D1%85_%D0%B2_%D0%90%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BA%D1%83_%D1%82.1%29 28. B. Y. Sokolova. “We Believe in Upcoming Flourishing of our Motherland” the Roerich Family about Russia’s Evolution Mission. – Proceedings of the International Scientific and Social Conference “Russia and Roerich Family’s Heritage” (8-11 October 2014). – Access mode: <http://www.icr.su/rus/conferencies/2014/Sokolova.php> 29. G.S. Tesler. New Cybernetics. – K.: Logos, 2006. – 2004 – p. 57-58. 30. Russian State Society. – Access mode: <https://cosmatica.org/> 31. S.G. Dzhura, V.I. Chursinov, V. V. Yakimishina. Current GDV Technologies to Fight for the ideals of the Big Russian World // Current Topical Problems of Information Confrontation; Challenges and Threats for Russia and the Russian World: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Donetsk, 30 October 2019)/ Edited by Prof. S. Bespalova. – Donetsk: DonNTU, 2019. – p. 168-170. Access mode: <http://donnu.ru/public/files/2019%20%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BD.%D0%BF%D1%80.%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84..pdf> 32. S.G. Dzhura, V. I. Chursinov, V.V. Yakimishina. The Way to Create Ethic Internet through GDV-Technologies // Donbass Information Space: Problems and Prospects: Proceedings of the II Republican with International Participation Scientific and Practical Conference, 31 October 2019. – Donetsk: DonNUET, 2019. – p. 214-217. Access mode: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/34190/1/Sbornik_31_10_2019.pdf 33. S.G. Dzhura, V.I. Chursinov, V.V. Yakimishina. Ethic Vector of GDV-Technologies Development // Noospheric Education in Euro-Asian Space. Vol. 9 .Noospheric Human Science as the Basis for the Noospheric Paradigm of Education and Bringing Up: Collective Scientific Monograph (Based on Proceedings of the IX International Scientific Conference “Noospheric Education in Euro-Asian Space”, December 12-13 2019, Smolni, St. Petersburg)/ Edited by A.I. Subetto- StPb: Asterion, 2019. p 558-568. Access mode: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/34270/1/_noosfer_2019_.pdf 34. RSS Project “Ethic Vector of GDV-Technologies”. – Access Mode: <https://cosmatica.org/projects/gdv>

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ
ПОКРЫТИЙ НА ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРА**

Анастасьева В.А., Михайлов А.Н. (каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены эффективные и наиболее применяемые в авиационной промышленности методы нанесения покрытий на лопатки компрессора ГТД.

Ключевые слова: лопатки компрессора, эрозионный износ, покрытие, газотермический метод, плазменное напыление, детонационное напыление.

1. Введение

Для вертолетов свойственны полеты на небольшой высоте, относительно длительная работа около земной поверхности, взлет и посадка с неподготовленных площадок. Ресурс вертолетных двигателей, работающих в запыленных условиях, весьма невелик – 50 250 ч. Осмотр двигателей, показал, что наиболее изнашиваемыми элементами конструкции являются лопатки компрессора [1].

В результате воздействия на лопатки компрессора пыли и песка, происходит снижение их прочностных характеристик, существенно уменьшается ресурс двигателя.

Износ лопаток осуществляется по входной кромке и корытцу, при этом степень износа возрастает от втулки к периферии. Эрозионный износ лопаток по всей высоте наблюдается лишь в первой ступени компрессора, а в средних и последних ступенях – только в верхней части. Это объясняется тем, что в компрессоре происходит постепенное сепарирование пыли, которое приводит к увеличению ее концентрации на периферии средних и последних ступеней компрессора. Ввиду этого лопатки первой ступени имеют равномерный износ по всей высоте, тогда как лопатки последней ступени имеют ярко выраженный износ на концах [1, 2].

Мероприятия направленные на увеличение твердости поверхностного слоя лопаток, например, хромирование, цементация и т.д., не привели к существенному уровню сопротивления эрозионному износу. Причиной послужило образование хрупкого твердого поверхностного слоя и наличие в нем микротрещин с последующим выкрашиванием при ударах твердых частиц пыли [2]. На ряду с этим, создание специальных износостойких покрытий, позволяет увеличить сопротивляемость износу примерно в 2-3 раза.

Целью данной работы является исследование эффективных методов восстановления эксплуатационных свойств лопаток компрессора, путем нанесения на них покрытий.

2. Основная часть

Важнейшим направлением технологического обеспечения высокой стойкости лопаток компрессора вертолетных газотурбинных двигателей, является нанесение эрозионноустойчивых покрытий. Существует множество методов нанесения покрытий на поверхность деталей, в частности детонационные, химико-термические, гальванические, диффузионные, плазменные и др., которые отличаются физико-химическими процессами формирования.

Наибольшее применение получили покрытия, основанные на методах химического осаждения (CVD) и физического осаждения (PVD), а также различные газотермические покрытия. Однако при существенном изменении геометрии лопаток применение методов CVD- и PVD-покрытий не целесообразно. Применение методов ГТН по-

крытий позволяет получать покрытия с высокими характеристиками адгезионной и когезионной прочности [3, 4].

Классификация методов газотермического нанесения покрытий согласно ГОСТ 28076–89, приведена на рисунке 1.

Наибольшее распространение получили газопламенный, детонационный и плазменный методы.

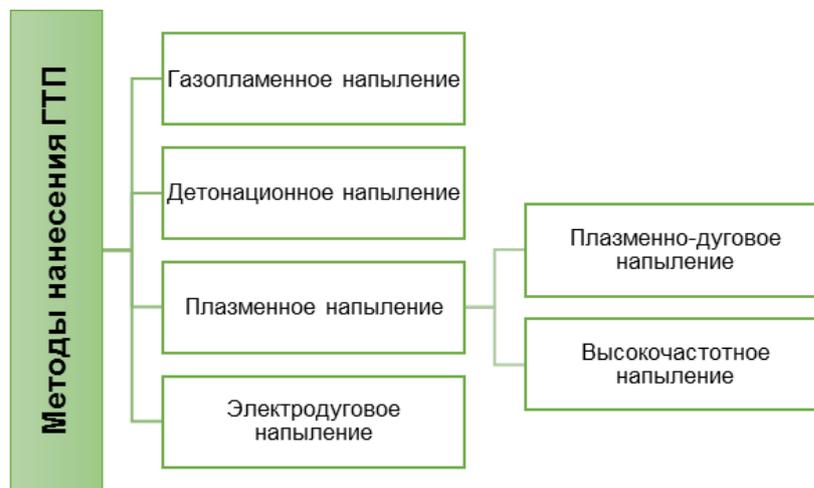


Рис.1 Методы нанесения покрытий газотермическим методом

Плазменный способ является наиболее универсальным и технологичным процессом газотермического напыления [4]. Потребность в материалах лопаток с очень высокими эксплуатационными свойствами появилась в связи с увеличением рабочих нагрузок и температур в газотурбинном двигателе. Метод плазменного напыления позволяет получать покрытия, отвечающим данным требованиям.

Одним из главных преимуществ данного метода, является возможность использования для образования струи дуговой плазмы газов различного рода (восстановительных, окислительных, инертных), что в сочетании с применением камер с защитной средой (вакуумом) позволяет регулировать свойства среды, в которой движутся частицы порошка. Однако у этого метода есть и недостатки: высокая пористость получаемых покрытий; высокая стоимость оборудования и его стационарность.

Что касается детонационного метода, то он обладает наилучшими техническими характеристиками – высокой износостойкостью и адгезией к подложкам, минимальной пористостью и газопроницаемостью. По сравнению с плазменными покрытиями, детонационные обладают высокой скоростью частиц при напылении, а также отличным механизмом формирования покрытия, проявляется это в импульсном характере процессов и большой концентрации напыляемых частиц. Детонационные покрытия эффективны для деталей высокой точности, таких как лопатки компрессора, которые кроме того, должны иметь максимальную размерную стабильность в процессе работы [5].

Выбор наиболее оптимального метода нанесения покрытий, который обеспечит требуемые эксплуатационные свойства лопаток при минимальных экономических затратах, условно представим в виде схемы, изображенной на рисунке 2.



Рис.2 Схемы выбора метода нанесения покрытий

3. Вывод

Для получения высокого уровня конструктивной прочности поверхностного слоя лопаток компрессора, применяют различные методы нанесения покрытий. Наносимые покрытия позволяют защитить материал основы от эксплуатационных воздействий, а также существенно увеличить срок службы как лопаток, так и двигателя в целом.

Проведенное исследование показало, что практически все основные свойства детонационных покрытий существенно превосходят свойства плазменных и газопламенных покрытий. Для них характерны значительно высокие значения адгезии к подложке, износостойкость, низкая пористость и проницаемость, чем газотермические покрытия других типов. Однако существенным недостатком данного метода является высокий уровень шума при напылении.

1. Масленников М.М. Газотурбинные двигатели для вертолетов. / М.М. Масленников, Ю.Г. Бехли, Ю.И. Шальман. – М.: Машиностроение, 1969. – 380 с.
2. Григорьев В.А. Вертолетные газотурбинные двигатели / В.А. Григорьев, В.А. Зрелов, Ю.М. Игнаткин и др.; под общ. ред. В.А. Григорьева и Б.А. Пономарёва. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с.
3. Зенин Б.С. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий/ Б.С. Зенин, А.И. Слосман; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 120 с.
4. Синани, И.Л. Методы нанесения покрытий / И.Л. Синани, Е.М. Федосеева, Г.А. Береснев: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 110 с.
5. Бартенев С.С. и др. Детонационные покрытия в машиностроении. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. — 215 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ

Гуричев И.А., Грубка Р.М. (Кафедра технологии машиностроения, ДонНТУ,
г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье рассмотрены виды пространственно – модифицированных зубьев и методы их получения.

Ключевые слова: Зуб, станок, модификация, исследование, профиль, эвольвента, дисковая модульная фреза.

1. Введение

Развитие современных технологий предъявляет повышенные требования к зубчатым передачам. Постоянное увеличение скоростей вращения, передаваемых нагрузок, необходимость уменьшения габаритных размеров требуют разработки новых или усовершенствования старых зубчатых передач.

В результате неточного изготовления и сборки зубчатых колес, упругой деформации корпуса и его опор, прогиба зубьев под нагрузкой и деформации при термообработке накапливаются погрешности, ухудшающие зацепление, вызывающие неправильное расположение пятна контакта на зубьях пары пар.

В неблагоприятных случаях пятно контакта резко уменьшается и может возникнуть краевой контакт, что приводит к высокой концентрации нагрузки на небольшие участки боковой поверхности, их интенсивный износ и разрушение. Для компенсации неблагоприятного влияния погрешностей и деформаций зубчатых элементов боковую поверхность зубьев модифицируют, изменяя ее геометрию.

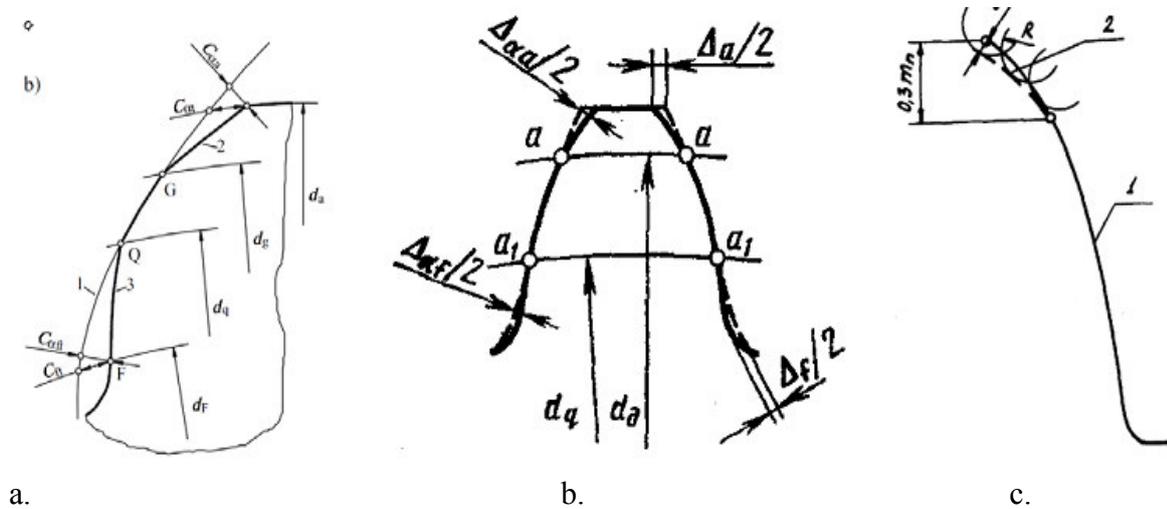
Под модификацией обычно подразумевают отклонение поверхностей зуба или витка от его основной поверхности, а под контактной локализацией – обеспечение взаимодействия активных поверхностей в определенной зоне путем отвода поверхности в тело одного или обоих элементов кинематической пары.

2. Основное содержание и результаты работы.

Модификация профиля зубьев зубчатых колес понимается не как изменение геометрии зубчатого зацепления, а как улучшение самого процесса зацепления и повышение прочности конструктивных элементов, а также повышение надежности зубчатых колес. Введение модификации обусловлено переменными режимами работы большинства трансмиссий. Модификация зуба по длине зуба снижает чувствительность передачи к погрешностям сборки, а по высоте смягчает взаимодействие зубьев в тот момент, когда одна пара покидает помолвку, а другая входит. Так как значения деформации в начале взаимодействия пар зубьев могут превышать точность изготовления зубчатых колес, но для зубчатых колес, при изменении профиля зубьев, необходимо учитывать деформацию зубьев, так как ее наличие "не позволяет исключить краевой контакт даже при отсутствии погрешностей в зубьях колес.

Наиболее существенное влияние на динамическую нагрузку и плавность работы прямозубой передачи оказывает погрешность шаг зацепления (f_{pb}) и погрешности в профиле зубьев (f_{fg}) приводят к так называемым обратным ударам, нарушающим плавную работу трансмиссии.

Существуют как экспериментальные методы, так и теоретические методы определения количества модификации. Практический метод более точен, но он стоит дорого и времени потребляет. Кроме того, неправильный выбор модификации может привести к разрушению не только коробки передач, но и двигателя. Снизить или полностью исключить дорогостоящие затраты при назначении рациональной формы модификации использование современных методов компьютерного проектирования и компьютерного моделирования позволяет использовать зубья. Известны различные формы модифицированных профилей зубьев. Как правило, модификация профиля сводится к замене участка боковой поверхности зуба прямой, эвольвентой или кривой второго порядка. Некоторые варианты зубьев с профильной модификацией приведены на рисунке 1.



- a) профиль с модификацией участка боковой поверхности зуба прямой .
 b) профиль с модифицированным сечением боковой поверхности зуба с эвольвентой.
 c) профиль с модифицированным сечением боковой поверхности зуба с дугой окружности.

Рис. 1. Варианты модификации профиля зуба

Главной задачей пространственной модификации является повышение долговечности зубчатых колес за счет обеспечения заданного характера контакта зубьев под действием рабочей нагрузки. При проектировании зубчатых колес это достигается за счет учета всех возможных перемещений зубчатых элементов, вызванных погрешностями изготовления и монтажа, а также деформациями под действием рабочей нагрузки. При изготовлении зубчатых коронок ставится задача довести геометрию боковой поверхности срезанных зубов до наиболее полного приближения к теоретически рассчитанной.

Для получения заданной геометрии боковой поверхности зубьев при нарезании круга путем копирования дисковой фрезой необходимо использовать нестандартный режущий инструмент со специально профилированной режущей кромкой, что усложняет изготовление инструмента и снижает его точность. При нарезании пространственно модифицированных зубьев стандартным дисковым модульным резцом требуемая

модификация боковой поверхности может быть получена путем изменения положения оси резца относительно оси зубчатого колеса и только на высокотехнологичном, современном оборудовании, имеющем пространственное движение в трехмерной системе координат по пяти осям.

Точность нарезания зубчатой коронки будет зависеть не только от способа обработки, точности используемого технологического оборудования и оснастки, но и от типа траектории относительного перемещения инструмента и заготовки. Причем наибольшая точность может быть обеспечена при аналитическом определении параметров заданной траектории относительного перемещения режущего инструмента в процессе формообразования в зависимости от геометрии боковой поверхности зубьев (1) и (2).

3. Выводы

Таким образом, при использовании высокотехнологичных, современных оборудований, стандартные режущие инструменты и аналитическое определение параметров траектории относительного перемещения режущего инструмента, учитывающее геометрию его режущей кромки и геометрию боковой поверхности зуба, позволяют производить резку пространственно модифицированных зубьев с заданными геометрическими характеристиками путем копирования дискового модульного резца.

Модификация зубчатых элементов и зубчатых колес - сложная задача, которая не может быть выполнена без соответствующего расчетного инструмента. Для получения повышения долговечности при изменении конструкции зубчатого колеса, и в частности путем модификации боковой поверхности зубьев, необходимо произвести точный расчет зубчатого зацепления с учетом условий и режимов нагрузки.

Список литературы: 1. Рыжов М.А., Генкин М.Д. Повышение надежности зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1981. 232 с. 2. Грубка Р. М. Конструктивные способы повышения эксплуатационных показателей цилиндрических зубчатых передач / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2019. - Вып. 1 (64). - С. 17 - 22. 3. Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колес: справочник. // Киев: Техника, 1992. 197 с. 4. MICRO EXPRESS [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.microexp.ru/modifikatsii>, свободный. 5. Кротов А.О. Модификация профиля зубчатых колес – один из способов повышения их технологичности / А.О.Кротов//Вестник Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева – 2016. - №12. - С. 63-66. 6. Грубка Р. М. Обобщенные зависимости для пространственного соединения цилиндрических зубчатых колес, учитывающие наличие погрешностей и деформаций элементов передач / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: Донец. нац. техн. ун-т, 2018. — Вып. 3(62). — С. 10 – 18. 7. Грубка Р. М. Классификация движений при многокоординатном зубофрезеровании пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, И. А. Петряева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2019. - Вып. 3 (66). - С. 16 - 21.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Луцик М. М., Газе Т. В., Буленков Е. А. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОЙ САД СИСТЕМЫ.....	3
Горобец И.А., Голубов Н.В., Рудой Е.Р. АПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫМ СТАНКОМ.....	5
Мамолат А.Г., Сулейманов С.Л. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА РФ-202М С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	8
Степочкина А. В. АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	12
Прилуцкий М.И., Цокур В.П., Ошовская Е.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНКА ЧПУ НА БАЗЕ ТОКАРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ ТВ16.....	18
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
Невмержицкая Г.В., Шлющенко А.П. РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКА БУКСЫ ВАГОНА ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОГО ВЫКРАШИВАНИЯ	20
Турманидзе Р.С., Попхадзе Г.З, Инашаридзе К. С. УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПЛАНТОВ ТАЗОБЕДРЕННЫХ СУСТАВОВ ЧЕЛОВЕКА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	25
Царенко С.Н., Языков М.И. ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ВЕСОМОЙ БАЛКИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ДИСКРЕТНЫХ МАСС	34
Пилякин Г.П., Лахин А.М. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	38

Антонюк Д. Н., Коваленко В.И.
ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ 42

Салосин В.И., Лахин А.М.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПИН-
НЫХ ИМПЛАНТОВ 44

**ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Анастасьева В.А., Михайлов А.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРА И ТУРБИНЫ..... 47

Водясов К. Н.
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА..... 51

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Гайдарь О.Г., Ростовский Б. С.
КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙЧАТЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЗАДАЧ..... 55

Катькалова Е.А. Яблоков В.В.
ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА И
СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ 58

Катькалова Е.А. Корецкая И.Н. Ракович Р. В.
ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРА И
СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ..... 60

Кравченко С., Скоринова А.О., Корецкая И. Н.
ПОСТРОЕНИЯ ОДНОЙ ЛИНЕЙКОЙ 62

**ПРОГРЕССИВНЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Борзов Д.Б., Сизов А.С., Дюбрюкс С.А.
ПОДХОД К БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕ-
СОРНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИЕМА-
ПЕРЕДАЧИ 64

Горох Г.Г., Шилько С.В., Лозовенко А.А., Иджи М.М., Рябченко Т.В., Захлебаева А.И. ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗДЕ- ЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	68
Поветкин В.В., Нурмуханова А.З., Ермеков Д.К., Букаева А.З., Исаева И.Н. УПРОЧНЯЮЩИЕ ГАЗОПЛАМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	73
Panteleenko F.I., Okovity V.A., Astashinsky V.M., Devoino O.G, Okovity V.V. DEVELOPMENT OF PRINCIPLES OF MODIFICATION BY HIGH-ENERGY PLASMA EXPOSURE OF COATINGS FROM CERAMICS WITH THE APPLICA- TION OF ADDITIVES OF REFINING METALS	78
ПРОЦЕССЫ РЕЗАНИЯ	
Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Черных В.В. МНОГОЗАХОДНЫЙ ГИПЕРБОЛОИДНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ЛИНЕЙНЫМ КОНТАКТОМ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛЬЮ	82
Горобец И.А., Голубов Н.В., Игнатов А.Д. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ	86
Лось Е.П., Лахин А.М. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ	90
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ	
Пилипенко В.В., Приходченко Е.И. ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ	94
Ломаковский К.Б., Приходченко Е.И. ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ИНЖЕНЕРНЫХ КАЧЕСТВ У СТУ- ДЕНТОВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА В ПРО- ЦЕССЕ КУРСА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ»	98
Dzhura S.G., Chursinov V.I., Chursinova A.A. TOWARDS META-PEDAGOGY	101
Анастасьева В.А., Михайлов А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРА	107

Гуричев И.А., Грубка Р.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ

110

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи до 3 страниц формата А4 (210x297 мм) с полями: **верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм**. Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord шрифтом Times New Roman размером 12ю распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати

2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название кафедры и организации, города, страны, основной текст, выводы, список литературы. Название печатать прописными (жирными) буквами, без переносов, центрировать. Через 1 пустую строку строчными буквами – фамилии и инициалы авторов (жирными), рядом в круглых скобках курсивом – сокращенное название кафедры и организации, города, страны (строку центрировать). Через 1 пустую строку – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов), межстрочный интервал 1, **с переносом слов**. См. образец оформления материалов.

3. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер Формул Для Microsoft Equation

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	12 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	10 pt

4. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять размерами не менее 60x60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: «Рис. 3. Схема устройства.» Рисунки отделяются от основного текста интервалом.

5. Таблицы должны иметь названия и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: «Таблица 2. Классификация муфт.» Таблицы отделяются от основного текста интервалом.

6. Список литературы должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

Иванов И.И., Петров П.П. (гр. ИТМ-14, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

(пустая строка)

Аннотация. В статье приведены данные по структурному синтезу сборочных уравнений описывающих процесс сборки изделий. (курсив, 6 ...8 строк)

Ключевые слова: структура технологии, синтез, процесс, сборка. (курсив, 5 слов)

(пустая строка)

1. Введение

Во введении необходимо представить литературный обзор современного состояния вопроса исследования, показать актуальность работы, поставить цель и определить задачи исследований (0,5 страницы).

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

.....

..... информационные и другие потоки (рис. 5) могут быть описаны

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

Список литературы: 1. Ким И. П. Исследование эффективности роторных машин / И.П. Ким. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А. В. Надежность технологических машин / А. В. Устюгов. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 425 с.

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Редакционная коллегия журнала «Инженер», кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, ДНР.

Тел. (+38 062) 305-01-04, (+38 062) 301-08-05; факс - (+38 062) 305-01-04;

E-mail: tm@fimm.donntu.org или mntk21@mail.ru http: // <http://tm.donntu.org>

Председатель редакционной коллегии – А. Н. Михайлов, тел. (+38 062) 305-01-04.

Зам. председателя – Т. Г. Ивченко, тел. (+38 062) 301-08-05.

Ученый секретарь – А.М. Лахин, тел. (+38 062) 301-08-05.