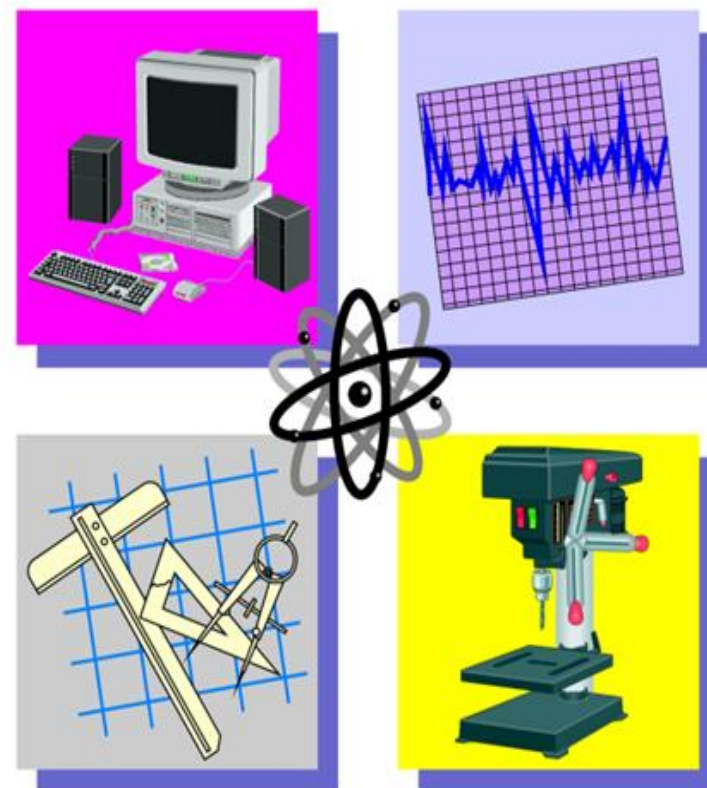


*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№2 (38) `2024



ДОНЕЦК - 2024



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 2(38) '2024

Донецк – 2024

УДК 621

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 5 от 06 июня 2024 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 Донецкого регионального отделения
«Союз машиностроителей России»

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий национальный технический университет»

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Чернышев Е.А.
Лахин А.М.

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Петряева И.А.,
Огренич Д. В., Киселица Д. О., Жарких Д. С.

Адрес редакции:

кафедра ТМ, ДонНТУ
6-й учебный корпус, 6.305
ул. Артема, 58
г. Донецк, ДНР, 283001, Россия
Тел.: +7 949 306-08-79

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

ISSN 2073-5804

© ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
технический университет», 2024

УДК 621.9.06—024.3

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ****Горобец И. А., Мелешко Э. Г., Черноус В. В.***(кафедра ТМ, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Донецк)*

Аннотация: Рассмотрена необходимость использования адаптивных устройств управления оборудованием с ЧПУ для изготовления изделий машиностроения. Исследованы параметры управления системой, выявлена необходимость использования систем автоматической оптимизации.

Ключевые слова: оборудование, изделие, параметры, оптимизация, критерий.

Дальнейшее совершенствование машиностроительного производства связано с эффективным использованием технологического оборудования с числовым программным управлением (станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, принтеры 3D печати). Повышение эффективности работы технологического оборудования с ЧПУ ограничивается наличием «жесткой» управляющей программы, устанавливающей заданные режимы передвижения в пространстве исполнительного устройства (головки с режущим инструментом, шпинделя с режущим инструментом, хотэнда с плавкой нитью 3D принтера, лазерной головки 3D принтера и пр.), рис.1-2. При программировании режимов технологического оборудования не учитываются особенности изготовления конкретной детали, в программу закладываются режимы для наиболее тяжелых условий. Кроме того, в «жесткой» системе не учитывается влияние непрерывно изменяющихся внешних воздействий и параметров системы привод-инструмент-деталь (СПИД), определяющих в большой степени производительность и точность изготовления.



Рис. 1. Вид обрабатывающего центра

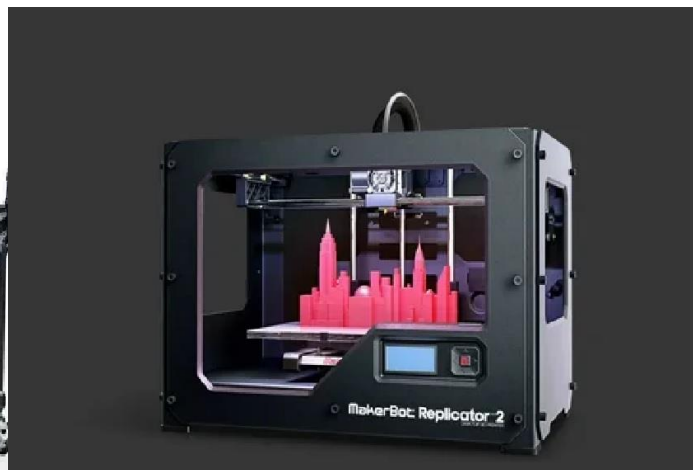


Рис. 2. Вид 3D-принтера

Стремление преодолеть эти недостатки технологического оборудования привело к созданию систем адаптивного управления в станкостроении, которые позволяют повышать эффективность процесса обработки каждой детали благодаря использованию текущей информации о параметрах, определяющих условия и качество процесса резания [1].

Под системой адаптивного управления (САУ) технологического оборудования с ЧПУ понимается комплекс технических и программных средств, включающих автоматическое управление режимами обработки в соответствии с задачей достижения функции цели. Такой целью может быть или положение (стабилизация) какого-либо управляемого параметра процесса (например, крутящего момента на шпинделе технологического оборудования, силы и мощность резания и т.д. для технологического металлорежущего оборудования, температура нагрева, усилия перемещения и мощность исполнительного устройства 3D-принтера и др.) на заранее заданном уровне, или получение экстремума заданной оценочной функции процесса изготовления объекта производства. В первом случае САУ называются адаптивными системами предельного регулирования (АСС), во втором — адаптивными системами оптимизации (АСО — *adaptive control for optimisation*) [1, 2, 3].

Исследования в области создания САУ начались в мировой практике в 60-х годах XX века; в начале 70-х годов прошлого века было разработано несколько первых промышленных систем. Адаптивные системы предельного регулирования силовым параметром созданы в Московском станкоинструментальном институте [1, 2, 4]. Эти системы предназначены для поддержания предельно допустимого значений силового параметра, определяемого допустимой деформацией или прочностью наиболее слабого звена СПИД. Такой принцип использован, в частности, в адаптивной системе АДФ, которая разработана в ЭНИМСе и предназначена для повышения точности и производительности контурной обработки на вертикально-фрезерных станках, оснащенных устройствами ЧПУ моделей УМС-2, «Контур-3П», «Контур-5П» и др. В устройстве - АДФ с помощью управления подачей стола поддерживаются составляющие силы резания равными заданным.

Аналогичная АСС применена в системах CNC (*computer numerical control*) ряда зарубежных фирм [5]. Здесь при помощи изменения подачи поддерживается предельное значение крутящего момента на осевом инструменте. Компанией *Westinghouse* (США) разработана простая аналоговая АСС для CNC. В этой системе в качестве предельного параметра используется мощность главного привода. Регулирование осуществляется путем изменения подачи. В целях защиты инструмента от перегрузок, возникающих в момент врезания инструмента в тело заготовки, увеличено быстродействие контура управления подачей путем снижения жесткости шпинделя.

В Ульяновском ГСКБ тяжелых и фрезерных станков разработана двухпараметрическая адаптивная система управления процессом фрезерования. Эта система стабилизирует мощность главного привода (путем изменения подачи) и осуществляет поиск виброустойчивого режима фрезерования (путем изменения скорости резания по шаговому алгоритму) [3].

Из многообразия аналогичных АСС можно выделить адаптивную систему, разработанную для фрезерного станка модели 6Н13ФЗ-2. Эта система обеспечивает одновременное предельное регулирование четырех параметров: составляющих силы резания, крутящего момента на шпинделе и потребляемой мощности главного привода; поддерживает на заданном уровне нагрузку на инструмент по критерию прочности при черновой обработке и по критерию точности при чистовой обработке с максимальным использованием мощности регулируемого привода и подач в пределах, заданных ограничениями.

Анализ использования адаптивных систем предельного регулирования показал, что эти системы не обеспечивают оптимизации режима обработки по общепринятым критериям, вследствие чего существенно недоиспользуются возможности станков с ЧПУ, что приводит к большим экономическим потерям. Потери производительности системы предельного регулирования зависят от типа линии ограничения, на которой она работает. При большом диапазоне изменения глубины фрезерования предельное регулирование приводит к большим потерям технологической производительности. Наибольшие потери наблюдаются в случае, когда за расчетные значения параметров резания приняты максимально возможные. Это связано с тем, что при малых значениях глубины и ширины фрезерования происходит резкое снижение стойкости инструмента за счет увеличения подачи на зуб фрезы и появления вибраций.

Системы АСО первоначально были разработаны фирмами Bendix (США) и Cincinnati (США). В этих системах автоматически поддерживались оптимальные условия обработки резанием на основе критериев максимальной производительности при изменении в широких пределах возмущающих воздействий. В качестве управляемых переменных в этих системах использовались подача и частота вращения главного привода. Для оптимизации обработки резанием требуется мгновенная оценка скорости изнашивания инструмента. Однако непосредственное измерение скорости изнашивания связано с большими техническими трудностями. Поэтому были, использованы экспериментальные аналитические зависимости скорости изнашивания инструмента от температуры в зоне резания и вибрации станка для косвенной оценки скорости изнашивания инструмента.

Использование такого параметра, как температура в зоне резания для оценки стойкости инструмента, анализируется в работах Уфимского авиационного института. Исследования А. Д. Макарова показали, что минимум относительного износа наблюдается при одной и той же температуре резания [7].

Компания Takeyama (Япония) в качестве меры износа инструмента использовала силу резания и получила удовлетворительные результаты. В Японии разработана АСО для 4-х координатного обрабатывающего центра, где оценка скорости изнашивания фрезы определялась с помощью датчика, вибраций на определенной частоте.

Беспоисковые системы АСО с аналитическим определением оптимального режима по критерию минимальных приведенных затрат описаны в работе [7] (для токарной обработки) и в работе [8] (для фрезерования). Скорость изнашивания инструмента здесь оценивается с помощью полиномиальных зависимостей Тейлора, связывающих стойкость с параметрами резания. В этих системах применены два контура регулирования, реализующие условия оптимальности. В первом контуре воздействием на параметр s поддерживается заданный крутящий момент на шпинделе, что обеспечивает, как и в системе АСС, заданную деформацию СПИД. Во-втором контуре поддерживается стойкость, обеспечивающая минимизацию критерия приведенных затрат.

Аналогичная система разработана в Пизанском университете для компании *Olivetti* (Италия) [9]. В качестве критерия оптимизации принят критерий минимальной себестоимости. В системе используются датчики для измерения, изгибающего и крутящего моментов, потребляемой мощности. Установленная связь между скоростью изнашивания инструмента и параметрами резания позволяет аналитически определить

экспериментальную - точку на плоскости выходных переменных и поддерживать ее средствами автоматического управления (эта точка находится на линии, ограничивающей допустимую область сверху). В целях упрощения алгоритма АСО разработчики системы пренебрегли стоимостью инструмента и свели работу системы к предельному регулированию (поддержанию условия постоянства момента и мощности или подачи). Упрощение задачи, связанное с исключением косвенного измерения износа и заменой его ограничением по мощности, привело к отказу от идеи оптимизации по экономическому критерию.

В работе [10] описана система АСО, обеспечивающая максимум производительности при условии получения заданной шероховатости поверхности. Особенностью системы является использование внешней базы данных на ЭВМ, в которой хранятся данные о свойствах обрабатываемого материала, параметрах режущих инструментов, конструктивные и технологические ограничения и т. д. На основе этих данных осуществляется первичная оптимизация металлообработки. Система оптимизации по показаниям датчиков подачи, частоты вращения шпинделя, силы резания и вибрации, а также по результатам вычислений на внешней ЭВМ обеспечивает оптимизацию металлообработки в соответствии с изменяющимися условиями.

При применении АСО производительность металлообработки при черновых операциях фрезерования и точения увеличивает на 30 — 50 % [5]. Однако АСО не получили широкого применения в станкостроении.

Это объясняется следующими причинами [10].

1. В условиях традиционного машиностроительного производства время обработки детали непосредственно на станке составляет не более 10 % от общего времени ее изготовления, большая часть времени приходится на выполнение неавтоматизированных операций. Таким образом, даже значительное повышение эффективности процесса резания недостаточно скажется на результате всей обработки. Поэтому оптимизация процесса металлообработки должна быть связана с комплексной гибкой автоматизацией всех производственных процессов, в том числе подготовительных.

2. При аппаратурной реализации систем автоматического управления режимами резания возникают серьезные затруднения при решении ряда функциональных задач. Так, не обеспечивается требуемое быстродействие защиты инструмента, кроме того, функции поддержания добротности системы управления и реализации вычислительных операций (например, операций деления, возведения в степень и т. д.), необходимых для АСО, на аналоговых элементах не обеспечивают необходимых точности и стабильности. Разработка и внедрение в металлообработку микропроцессорных систем управления станками типа CNC создали предпосылки для решения этих и других задач оптимизации на принципиально новом уровне.

3. Поскольку процесс резания структурно входит в контур системы управления, внешние и внутренние возмущающие воздействия этого процесса приводят к трансформации всей системы. Поэтому качество управления, особенно при черновых режимах, характеризующихся, в частности, изменением припуска в широких пределах, при традиционной структуре регуляторов не обеспечивается, что приводит к существенному снижению эффективности АСС и АСО. Кроме того, в основные экономические критерии оптимизации металлообработки входят параметры, зависящие

от припуска. В связи с этим необходим адаптивный подход к автоматической оптимизации.

В процессе создания АСС и АСО были и другие технические трудности, связанные, в частности, с созданием датчиков, модели процесса резания и т. д.

Применение микропроцессорной техники для управления станками существенно стимулировало развитие АСС и АСО. Появились АСС для сверления, фрезерования и точения, возрос интерес к системам оптимизации, которые приобретают особое значение в металлообрабатывающих гибких производственных системах, когда доля металлообработки существенно увеличивается в общем времени цикла изготовления детали и даже небольшое повышение производительности резания приводит к заметному экономическому эффекту. Кроме того, в условиях гибкого автоматизированного производства (ГАП, в котором количество работающих людей минимально) постоянно корректировать режим в процессе металлообработки будет практически невозможно. Поэтому в настоящее время в связи с широким внедрением систем ЧПУ типа CNC и с проведением работ по созданию ГПС, рис.3, включающих не только оборудование и процессы металлообработки, но и 3D печати объектов производства, потребность в системах автоматической оптимизации является чрезвычайно актуальной [11].



Рис. 3. Вид ГПС

Выводы. Использование автоматизированных систем оптимального управления технологическим оборудованием с ЧПУ связано с необходимостью обоснования выбора критерия, в соответствии с которым будет проводиться оптимизация, определением стратегии оптимизации, программной и аппаратной реализацией системы автоматической оптимизации. Выбор критерия определяет стратегию оптимизации, которая в большинстве случаев связана с адаптивным управлением.

Список литературы: 1. Елагин, В.В. Технологические основы обработки деталей в гибких автоматизированных производствах: учебное пособие / В.В. Елагин, А.А. Терентьев - Оренбург: ОГУ, 2019. – 136 с. 2. Балакшин, Б.С. Теория и практика технологии машиностроения.- М.: Машиностроение, 1982.- 239с. 3. Петраков, Ю.В.

Автоматическое управление процессами резания: учебное пособие / Ю.В. Петраков, О.И. Драчёв. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 408 с. **4.** Адаптивное управление технологическими процессами (на металлорежущих станках) / Ю.М. Соломенцев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 536 с. **5.** Usloy, A. Principal Developments in the Adaptive control of machine tools/ A.Usloy, J.Koren // J. Of Dynamic system - 1983. Vol.105 N2. p.107-112. **6.** Коваль, М.И. Двухпараметрическая адаптивная система управления процессом фрезерования / М.И.Коваль. А.В.Коробко // Станки и инструмент - М.:1981, №2, С. -17-19. **7.** Ратмиров, В.А. Повышение точности и производительности станков с ЧПУ/ В.А.Ратмиров, И.Н.Чурин, С.Л.Шмутер – М.: Машиностроение, 1970.- 280с. **8.** Рубашкин, И.Б. Адаптивные системы взаимосвязанного управления электроприводами. – Л.: Энергия, 1975.-160с. **9.** Bendini, R. A hardwired logic for the adaptive control of a milling machine / R.Bendini, P.Pinotti // Int. I. Mach. Tool Des. and Res. 1976. Vol.16, №3. -P.193-207. **10.** Boer, C. Adaptive control optimization for numerically controlled milling Process / C.Boer, M.C.De Matherbe, R.Venter // Proc. 18th Int. Mach. Tool Des. and Res. Conf. London, May 1977. - London: Wiley ,1978.- P.665-671. **11.** Горобец, И.А. Определение критерия оптимизации системы управления токарными станками с ЧПУ/ ЖУРНАЛ «Главный механик» - М.: Издательский Дом «Панорама», № 2 (198), 2020. - С.7–11.

УДК 621.9

ВЫБОР ТИПА СЕНСОРНОГО УСТРОЙСТВА И МЕСТА ЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

Горобец И. А., Мелешко Э. Г., Колесников В. М.

(кафедра ТМ, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Донецк)

Аннотация. Приведены возможности использования известных физических явлений при проектировании сенсоров адаптивных устройств управления оборудованием с ЧПУ при изготовлении изделий машиностроения. Предложен вариант конструкции сенсора на основе тензометрии. Даны рекомендации по расположению сенсора в конструкции фрезерного станка с ЧПУ.

Ключевые слова: оборудование, управление, сенсор, конструкция, параметры.

Одним из направлений дальнейшего совершенствования парка современного технологического оборудования с ЧПУ является оснащение его адаптивными системами управления, позволяющих учитывать текущие изменения параметров технологического процесса изготовления объектов машиностроительного производства [1]. Важным элементом такой системы являются сенсоры физических величин процесса изготовления [2, 3]. При механической обработке изделий машиностроения ключевым параметром, влияющим на затраты мощности резания, энергетических и стоимостных показателей обработки являются усилия резания [2]. Поэтому вопросы измерения мгновенных показателей усилий резания для использования в адаптивной системе управления станком с ЧПУ являются актуальными. Сенсоры для измерения усилий резания могут быть спроектированы на основе различных физических явлений [3]: тензорезистивный эффект; пьезоэлектрический эффект; эффект изменения электрической емкости; эффекты, которые основаны на электромагнитных явлениях; эффект изменения частоты; эффект наведения электрического заряда.

Рассматривая физические процессы во всех известных измерительных сенсоров, можно в каждом случае установить корреляционную связь между выходной Y и входной X величинами:

$$Y_{\text{вых}} = f(X_{\text{вх}}) \quad (1)$$

Отношение изменения выходной величины к изменению входной характеризует чувствительность S преобразовательного устройства.

$$S_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (2)$$

Чувствительность сенсора S_o в этом случае является произведением элементарных величин чувствительностей преобразовательных устройств, входящих в состав датчика.

$$S_o = \prod_{i=1}^n S_n \quad (3)$$

При проектировании сенсоров усилий резания для металлорежущего оборудования с ЧПУ воспользуемся хорошо зарекомендовавшими себя тензорезисторными преобразователями. Основой тензорезисторных сенсоров является тензоэффект: при изменении длины проволоки (для проволочного тензорезистора) или фольги (для фольгового тензорезистора) изменяется ее сопротивление.

Особенностью сенсоров силы является малые величины деформации порядка $0,1 - 0,2\%$ и для этих пределов основные параметры измерительных устройств: погрешность тензорезисторов, гистерезис, нелинейность будут минимальными.

Структурную схему тензорезисторного датчика силы можно представить в виде последовательного соединения трех измерительных преобразователей, рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема тензорезисторного датчика силы

Структурная схема сенсора давно не является предметом новизны, однако реализация конструкции механической части сенсора является предметом креативности и новизны. Интерес представляет также место расположения сенсорного устройства в объекте управления. Особенно актуальным этот вопрос проявляется в реализации адаптивной системы управления металлорежущим станком с ЧПУ, например, фрезерным, поскольку расположить датчик непосредственно в зоне резания не представляется возможным. Более того, конструктивное расположение сенсора во вращающейся части шпинделя фрезерного станка потребует наличие токосъемного устройства, преобразующего передачу электрического сигнала с движущегося сенсора в стационарное неподвижное устройство. Это внесет дополнительную погрешность устройства из-за нестабильности сопротивления подвижных и неподвижных частей токосъемного устройства [3].

Поэтому, одним из путей решения вопроса эффективного использования сенсора является его рациональное размещение в корпусе шпинделя станка. В качестве измерительной схемы можно использовать стандартную мостовую схему измерения [3,4], рис. 2.

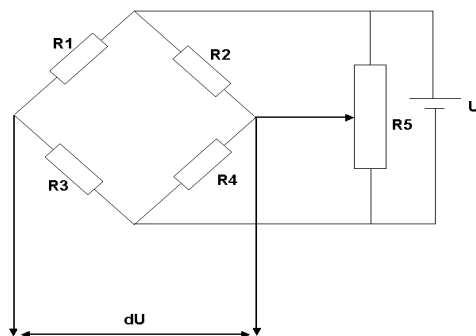


Рис. 2. Мостовая схема соединения тензорезисторов датчика

Выводы. Актуальным вопросом использования адаптивных систем управления современных металлообрабатывающих станков с ЧПУ является проектирование конструкции сенсора усилий резания и выбор рационального его места расположения в конструкции технологического оборудования.

Список литературы: 1. Елагин, В.В. Технологические основы обработки деталей в гибких автоматизированных производствах: учебное пособие / В.В. Елагин, А.А. Терентьев - Оренбург: ОГУ, 2019. – 136 с. 2. Петраков, Ю.В. Автоматическое управление процессами резания: учебное пособие / Ю.В. Петраков, О.И. Драчёв. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 408 с. 3. Болтян А. В., Горобец И. А. Теория инженерных исследований: Учебное пособие. – Севастополь: «Вебер», 2001. – 139 с., ил. 4. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. А. П. Осадчего. –М.: Машиностроение, 1979. - 480 с.

УДК621

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЙ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ**Глушко В. Ю., Михайлов А. Н. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, РФ)**

***Аннотация.** В статье рассматриваются особенности разрушений лопаток турбин газотурбинных двигателей, а также методы повышения их эксплуатационных характеристик. Проведен анализ структуры жаропрочных материалов, применяемых для изготовления лопаток, исследованы основные механизмы износа и разрушения. В статье предложены современные решения, такие как использование новых материалов и аддитивных технологий, для повышения надежности и ресурса работы турбин.*

***Ключевые слова:** лопатки турбины, газотурбинный двигатель, износ, повреждения.*

1. Введение

Лопатки турбины являются важным компонентом газотурбинных двигателей, поскольку они преобразуют энергию расширяющихся газов в механическую работу. Эти элементы подвергаются воздействию экстремальных условий, таких как высокие температуры, агрессивные газовые среды и механические нагрузки. В связи с этим, надежность и долговечность лопаток турбины напрямую зависят от структуры используемых материалов и свойств защитных покрытий.

Актуальность работы обусловлена тем, что лопатки турбин газотурбинных двигателей являются одними из самых уязвимых и нагруженных элементов, от которых зависит работоспособность и ресурс двигателя в целом. Износ и разрушение лопаток могут привести к снижению эффективности двигателя и значительным экономическим потерям. Современные газотурбинные установки работают при повышенных температурах, что увеличивает требования к термостойкости и износостойкости материалов. Поэтому изучение процессов разрушения и поиск решений для повышения надежности и долговечности лопаток турбины является важной задачей для отрасли.

Цель данной работы – анализ особенностей разрушений лопаток турбины газотурбинного двигателя и предложение методов повышения их эксплуатационных свойств.

Для достижения этой цели в работе были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ структуры и особенностей лопаток турбины.
2. Исследовать механизмы износа и разрушения, влияющие на эксплуатационный ресурс лопаток.
3. Предложить решения и методы, направленные на улучшение долговечности и надежности лопаток.

Таким образом, данное исследование направлено на улучшение эксплуатационных характеристик лопаток турбин, что способствует повышению эффективности работы газотурбинных двигателей.

2. Основное содержание и результаты работы

Во время работы лопатки турбины газотурбинного двигателя подвергаются воздействию высокой температуры рабочих газов, которые состоят из продуктов сгорания топлива и мельчайших абразивных частиц. Газы оказывают на лопатки температурное, коррозионное и абразивное воздействие, а также растягивающие и изгибающие напряжения, возникающие в процессе работы турбины [1].

В общем случае причинами разрушения лопаток турбин могут быть:

- нарушение условий эксплуатации;
- погрешности при изготовлении заготовки;
- дефекты, возникшие в результате механической обработки;
- превышение предельных температурных воздействий;
- растягивающие и изгибающие напряжения, возникающие в процессе эксплуатации;
- ошибки при сборке;
- попадание посторонних предметов;
- усталостные напряжения, возникающие при длительной эксплуатации;
- сульфидная коррозия;
- эрозионный износ;
- вибрационные напряжения.

Для изготовления рабочих лопаток турбин применяются жаропрочные сплавы, содержащие никель, хром, вольфрам, молибден, титан и тантал. Широко используются жаропрочные деформируемые и литейные сплавы, такие как ХН66ТЮР (ЭИ437Б), ХН70ВМТЮ (ЭИ617), ЭП109, ЭП220, ЖС6-КП, ЖС6-К и другие. Литейные сплавы обладают большей жаростойкостью по сравнению с деформируемыми, поскольку при высоких температурах структура литых сплавов лучше выдерживает нагрузки, чем гомогенизированная структура, получаемая в результате горячей обработки давлением [2].

Для защиты от воздействия высокой температуры и агрессивной среды разработаны различные покрытия, которые помогают продлить срок службы лопаток. Наиболее распространенные из них – металлокерамические теплозащитные покрытия, состоящие из жаростойкого металлического слоя и керамического барьерного слоя. Эти покрытия играют ключевую роль в снижении термического износа лопаток, а также защищают от коррозии и эрозии, вызванных продуктами сгорания и абразивными частицами. Важным аспектом является необходимость поддержания прочностных свойств покрытия при длительной эксплуатации, поскольку микротрещины в защитных слоях могут приводить к быстрому разрушению лопаток.

По мере повышения рабочей температуры газотурбинных двигателей и газотурбинных установок для защиты наиболее термонагруженных элементов, изготовленных из жаропрочных никелевых сплавов, таких как детали камеры сгорания, сопловые и рабочие лопатки турбины высокого давления, стали применять металлические жаростойкие покрытия. В дальнейшем начали использовать комплексные металлокерамические теплозащитные покрытия, состоящие из жаростойкого металлического слоя и термобарьерного керамического слоя.

К покрытиям предъявляются определённые требования: низкий коэффициент теплопроводности, стабильность при высоких температурах, долговечность, а также устойчивость к эрозии и химическому взаимодействию с частицами, присутствующими в газе, такими как сера, ванадий или кальций-магний-алюмо-силикаты [3].

Современное теплозащитное покрытие состоит из нескольких слоёв. На поверхность детали наносится жаростойкий связующий слой, который защищает основной материал от высокотемпературной коррозии и окисления. Затем поверх наносится керамический слой, который препятствует проникновению тепла внутрь жаропрочного сплава. Для его нанесения на детали используются различные методы:

- плазменное напыление в открытой атмосфере;
- плазменное напыление в динамическом вакууме;
- высокоскоростное газопламенное напыление;

- конденсационные вакуумные методы.

В качестве верхнего керамического слоя на протяжении длительного времени используются материалы на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия. Наиболее распространенным является диоксид циркония, стабилизированный 6-8% оксида иттрия [3].

Нанесение верхнего керамического слоя осуществляется различными способами:

- газотермическое напыление (APS, газопламенное напыление);
- осаждение из паровой фазы в вакууме (EB-PVD);
- другие вакуумно-конденсационные методы.

Однако на сегодняшний день КС на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, не может обеспечить требуемые характеристики по стойкости и ресурсу ТЗП для перспективных ГТД. Это связано с ростом коэффициента полезного действия и ужесточением экологических требований, которые во многом достигаются за счет повышения давления и температуры рабочего тела газогенератора.

Мировая двигателестроительная отрасль ориентирована на поиск и разработку альтернативных решений, учитывающих эти тенденции. Одним из перспективных направлений является применение новых материалов на основе диоксида циркония, частично легированного оксидами редкоземельных металлов.

Однако износ лопаток может происходить не только из-за температурных воздействий, но и вследствие других факторов. Важную роль играют эрозия поверхности, вызванная потоком твердых частиц, усталостные напряжения при циклических нагрузках, а также механические повреждения от случайных ударов посторонними предметами, попадающими в двигатель. Для борьбы с этими видами разрушений разрабатываются методы поверхностной обработки, такие как лазерная обработка, направленная на повышение прочности поверхности и уменьшение вероятности усталостного разрушения.

Кроме того, для повышения ресурса эксплуатации лопаток активно исследуются методы охлаждения, такие как использование внутренней системы каналов для охлаждения лопаток воздухом. Это позволяет эффективно снижать температуру внутри материала и защищать лопатки от перегрева, что критически важно для их долговечности [4].

Также перспективным направлением является применение аддитивных технологий при производстве лопаток [5]. 3D-печать позволяет создавать более сложные и оптимизированные конструкции лопаток, что способствует лучшему распределению напряжений и снижению веса, а также минимизирует дефекты, возникающие в процессе литья или механической обработки.

3. Заключение

В ходе исследования были достигнуты следующие ключевые цели:

1. Проведён анализ структуры и особенностей лопаток турбины газотурбинного двигателя. Особое внимание было уделено микроструктуре жаропрочных сплавов, поскольку она влияет на механические свойства и устойчивость к высоким температурам. Современные методы обработки и термобарьерные покрытия значительно увеличивают срок службы лопаток, защищая их от термического, коррозионного и механического износа.

2. Исследовано воздействие различных факторов износа и разрушения, таких как усталостные нагрузки, эрозионное воздействие и температурные колебания. Эти факторы приводят к деградации материала лопаток и могут существенно сократить их

срок службы без надлежащих защитных мер.

3. Предложены решения и методы, направленные на повышение надёжности лопаток турбины. К ним относятся усовершенствованные системы охлаждения, новые материалы для термобарьерных покрытий и внедрение аддитивных технологий, которые позволяют повысить точность и качество производимых лопаток.

Эти решения открывают новые перспективы для увеличения ресурса и эффективности работы газотурбинных двигателей, что особенно важно в условиях растущих требований к их экономичности и экологичности.

Проведённый анализ наглядно демонстрирует важность комплексного подхода к исследованию и улучшению лопаток турбин, что способствует увеличению их долговечности и повышению общей эффективности работы газотурбинных установок.

Список литературы: 1. Михайлов, А. Н. Основы синтеза механизма повышения ресурса лопаток турбины газотурбинного двигателя на базе функционально-ориентированного подхода / А. Н. Михайлов, А. В. Анастасьев, Н. С. Пичко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2022. – № 4(79). – С. 35-43. – EDN LGNZXZ. 2. Ерошков, В. Ю. Прогрессивные технологии обработки деталей газотурбинных двигателей : учебник / В. Ю. Ерошков. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. — 200 с. — ISBN 978-5-9729-0806-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/123818.html> (дата обращения: 05.10.2024). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей 3. Разработка жаростойкого термобарьерного покрытия для деталей газотурбинных двигателей и газотурбинных установок / И. В. Ситников, Д. А. Максимов, В. Н. Батраков, Ю. А. Боронников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 68. – С. 5-10. – DOI 10.15593/2224-9982/2022.68.01. – EDN IQSEDO. 4. Сенюшкин, Н. С. Исследование влияния работы системы охлаждения на температуру лопатки турбины низкого давления / Н. С. Сенюшкин, В. А. Замурагина, И. И. Салимова // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2023. – Т. 27, № 1(99). – С. 3-12. – DOI 10.54708/19926502_2023_271993. – EDN SPVGKO. 5. Аль-Дарабсе, А. М. Ф. Аддитивное производство для авиационной промышленности / А. М. Ф. Аль-Дарабсе, Е. В. Маркова, В. В. Миллер // Российский электронный научный журнал. – 2019. – № 4(34). – С. 19-44. – DOI 10.31563/2308-9644-2019-34-4-19-44. – EDN TOTNJI.

УДК 621.833

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ГЛАВНОГО РЕДУКТОРА ПРИВОДА ВИНТА ВЕРТОЛЕТА****Михайлов Н. В., Федотов М. С. Лахин А. М., Михайлов А. Н.***(кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк)*

Аннотация. В статье показана конструкция узлов трансмиссии вертолета, исследованы условия эксплуатации зубчатых колес главного редуктора привода винта вертолета.

Ключевые слова: редуктор, трансмиссия, зубчатые колеса, контактные напряжения, долговечность.

На территории Российской федерации воздушный транспорт, будучи универсальным, используется преимущественно для перевозки пассажиров на средние и дальние расстояния и отдельных видов грузов. Значимая роль воздушного транспорта для РФ связана с большими размерами территории нашей страны и недостаточной обеспеченностью отдельных регионов другими видами транспорта.

Облик современного вертолета во многом определяется обликом его главного редуктора, который зависит от множества факторов. Например, облик главного редуктора двухдвигательного вертолета типа Ми-6 или Ми-26 зависит от пространственного расположения параллельных горизонтальных осей вращения двух входных валов между собой и скрещивающейся практически под прямым углом с ними вертикальной осью одного или двух коаксиально расположенных между собой выходных валов, несущих один или два встречно-вращающихся воздушных винта.

В тоже время авиационные зубчатые передачи, привод и редуктор занимают особое место в силовой установке летательного аппарата. Их производство а существенно отличается от общемашиностроительного. При высоком уровне надежности, обеспечивающем безопасность полета, в авиационных изделиях значения удельной массы изделия на один-два порядка меньше, чем в общем машиностроении.

Целью данной работы является исследование конструкций приводов несущего и рулевого винтов. Исследовать условия эксплуатации зубчатых колес главного редуктора привода винта вертолета.

Трансмиссия (рис. 1) – одно из самых сложных устройств вертолета, которое обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя к несущим, рулевым винтам и вспомогательным агрегатам [1].

В трансмиссию входят следующие основные элементы:

- главный редуктор;
- редукторы двигателей;
- промежуточные редукторы;
- хвостовой редуктор;
- муфты включения сцепления и свободного хода;
- тормозы несущих винтов;
- валы;
- соединения валов (карданы, шлицевые и эластичные муфты);
- опоры валов с амортизаторами;
- системы крепления редукторов.

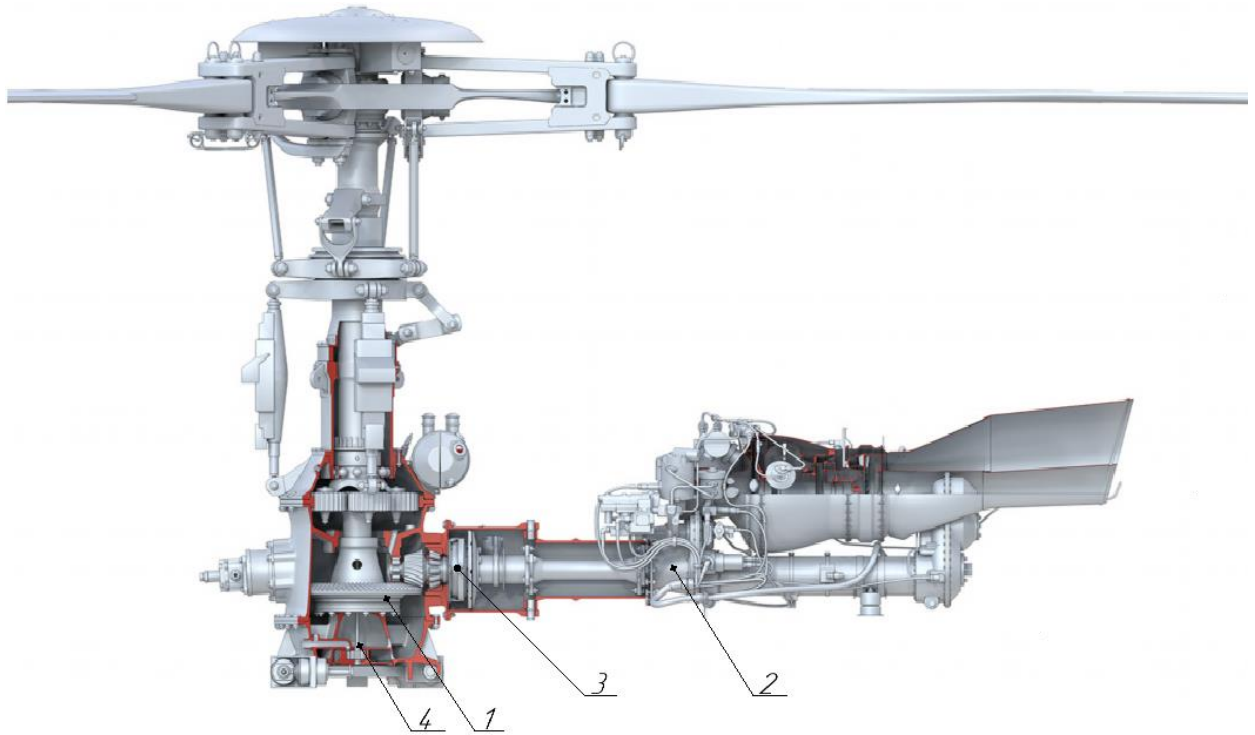


Рис. 1. Общий вид трансмиссии {1}: 1 – главный редуктор; 2 – редукторы двигателей; 3 – муфты включения сцепления и свободного хода; 4 – опоры валов с амортизаторами.

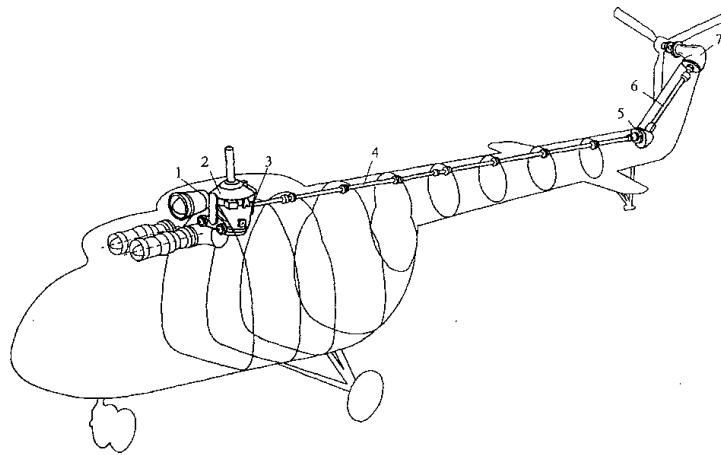


Рис. 2. Компоновка трансмиссии вертолета [2]: 1 – промежуточные редукторы; 2 – главный редуктор; 3 – тормоз несущих винтов; 4 – вал рулевого винта; 5 – промежуточный редуктор; 6 – промежуточный вал; 7 – редуктор рулевого винта.

Промежуточный редуктор предназначен для изменения направления привода. Такое изменение обеспечивается парой конических зубчатых колес, передаточное отношение которых обычно близко к единице.

Хвостовой редуктор предназначен для вращения хвостового винта с нужным числом оборотов. Вращение осуществляется парой конических зубчатых колес.

Тормоз несущего винта. В большинстве вертолетов в систему трансмиссии

введен тормоз, с целью более быстрой остановки несущего винта и предотвращения раскрутки его на стоянке. Управление тормозом осуществляется из кабины летчика.

Трансмиссионные валы. Валы, соединяющие двигатель с редукторами несущих винтов или редуктор несущего винта с хвостовым редуктором, имеют большую частоту вращения (обычно 1-3 тысячи оборотов в минуту).

Главный редуктор (рис. 2) предназначен для суммирования мощности двух газотурбинных двигателей, передачи ее на валы несущего и рулевого винтов при соответствующих скоростях вращения и обеспечения привода вспомогательных агрегатов, расположенных на редукторе. Главные редукторы обычно имеют большое передаточное отношение, обусловленное малой частотой вращения несущего винта и большой частотой вращения свободной турбины двигателя. Он состоит из: муфты свободного хода, входного редуктора, левой коробки приводов, правой коробки приводов, передних и задних конических редукторов, маслоагрегата, блока фильтров, подкосов, шпилек крепления редуктора и центрального редуктора.

Авиационные зубчатые передачи обеспечивают передачу крутящего момента. Они увеличивают крутящий момент двигателя в десятки раз при высокой надежности работы, малой массе и габаритных размерах, незначительных потерях на трение.

По назначению авиационные зубчатые передачи составляют четыре большие группы[3]:

1) Зубчатые передачи основной кинематической цепи главных и промежуточных редукторов вертолетов;

2) Редукторов ТВД;

3) Приводов двигателей, самолетных и вертолетных агрегатов;

4) Трансмиссий самолетов и прочие передачи, в том числе кинематические;

Первые две и частично третья группа передач являются высоконапряженными, а часть из них также и высокоскоростными.

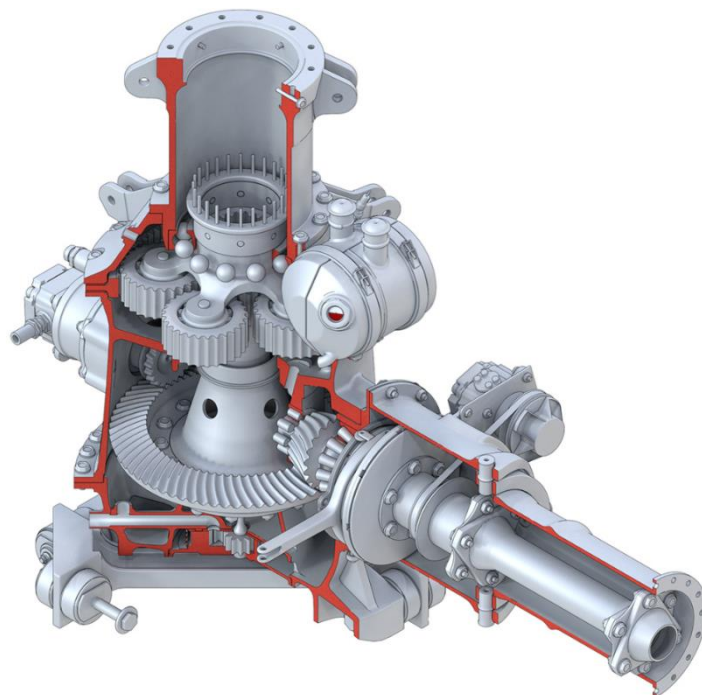


Рис. 3. Главный редуктор [3]

Авиационные зубчатые колеса находятся в особых условиях эксплуатации - передача высоких нагрузок при малом весе зубчатого колеса. Современные зубчатые передачи рассчитаны на ресурс более 20000 часов для гражданских двигателей и более 2000 часов для двигателей военного назначения. Передаваемая ими мощность более 2000 кВт, частота вращения более 8000 об/мин.

Основным способом снижения веса авиационных зубчатых колес является уменьшение ширины зубчатого венца – геометрического параметра, непосредственно влияющего на величины контактных и изгибных напряжений. В свою очередь малая ширина венцов исключает рациональное применение косозубого вида зацепления, так как преимущества последнего реализуются только при достаточно большой ширине зубчатого венца. По этой причине из всех авиационных цилиндрических передач 97% являются прямозубыми.

В этих условиях возникает необходимость использования специальной геометрии и различных модификаций зубьев зубчатых колес, обеспечивающих отсутствие кромочных ударов, малые колебания и повышенную жесткость зубьев. В современных условиях необходимо повысить несущую способность зубчатых колес, уменьшить уровень вибрационной активности, повысить качество определения формы модификации зубчатых колес и повысить надежность прочностных расчетов, учитывающих модификацию профиля зубьев. Ошибки в определении формы линии модификации профиля также могут приводить к повышенной вибрации, вследствие нарушения сопряженности зацепления зубчатых колес под нагрузкой.

К возможным вариантам модификации боковой поверхности зубьев колес относят[2]:

- по профилю (позволяет достигнуть плавности входа и выхода из зацепления зубьев);
- по длине (позволяет перераспределить контактные нагрузки);
- комбинированная по профилю и длине (обеспечивает плавность входа и выхода из зацепления зубьев, перераспределяет контактные нагрузки по профилю и длине зуба);
- топологическая (обеспечивает специальные требования к эксплуатации зубчатых колес)

Таким образом в работе показаны особенности конструкции трансмиссии привода винтов вертолетов и назначение его основных элементов, исследованы условия эксплуатации зубчатых колес главного редуктора привода винта вертолета. Предложены способы для повышения надежности и долговечности зубчатых колес.

Список литературы: 1. Дудник В.В. Конструкция вертолетов. – Ростов н/Д: Издательский дом ИУИ АП, 2005. – 158 с. 2. Дорофеев В.Л. Голованов В.В., Гукасян С.Г. Модификация авиационных зубчатых передач с целью уменьшения износа контактной поверхности/Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – №4. 3. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник/под ред. Э.Б. Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 373 с.

УДК 621.7

**МНОГОСЛОЙНЫЙ ПОЛИРОВАЛЬНЫЙ КРУГ ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ
ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНЫМ
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПРОФИЛЕМ****Мищенко А. А., Анастасьев А. В., Михайлов А. Н.***(кафедра АТР, АДИ ДонНТУ, г. Горловка, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, РФ)*

Аннотация. В статье рассматривается концепция многослойного полировального круга для последовательной отделочной обработки деталей со сложным пространственным профилем, в частности лопаток турбин ГТД. Описывается конструкция круга, состоящего из трех слоев различных полировальных материалов, каждый из которых выполняет определенную функцию: предварительная полировка, окончательная чистовая полировка и финишная обработка. Особое внимание уделяется профилированию круга с учетом геометрии обрабатываемой детали. Предлагаются варианты конструкции круга с различной толщиной и формой слоев. Подчеркивается важность выбора материалов и профилирования для достижения высокого качества обработки сложных поверхностей без необходимости смены инструмента.

Ключевые слова: полировальный круг, слой, материал, параметры, обработка.

В современном машиностроении, особенно в авиационной промышленности, все большее значение приобретает качество обработки деталей со сложным пространственным профилем. Лопатки турбин газотурбинных двигателей (ГТД) являются ярким примером таких деталей, требующих высокоточной и качественной отделочной обработки. От качества их поверхности напрямую зависят эксплуатационные характеристики и надежность всего двигателя.

Традиционные методы полирования часто сталкиваются с рядом проблем при обработке сложнопрофильных поверхностей, таких как неравномерность обработки, необходимость частой смены инструмента, и сложность достижения требуемых параметров качества поверхности на всех участках детали. Эти проблемы приводят к увеличению времени обработки, повышению трудоемкости процесса и, как следствие, к росту производственных затрат [1].

В связи с этим, разработка новых инструментов и методов полирования, способных обеспечить высокое качество обработки сложнопрофильных поверхностей при одновременном повышении эффективности процесса, является актуальной задачей современного машиностроения. Целью исследования является разработка и обоснование конструкции многослойного полировального круга для повышения эффективности последовательной отделочной обработки деталей со сложным пространственным профилем, в частности лопаток турбин ГТД. Для достижения этой цели необходимо решение ряда задач, таких как: разработка концепции многослойного полировального круга, обеспечивающего выполнение полного цикла обработки без смены инструмента, определение оптимального количества и функционального назначения слоёв полировального круга, разработка методики профилирования, предложение различных вариантов конструкции круга. Эти задачи решаются в данной работе.

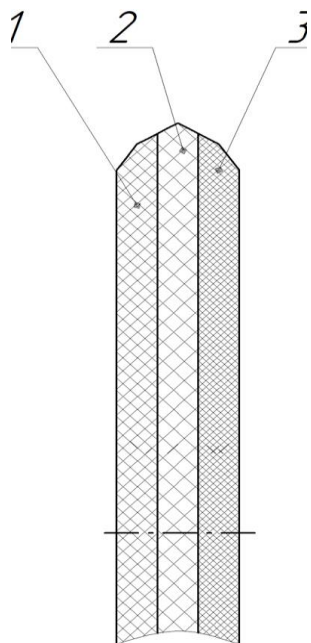


Рис. 1. Общий вид комбинированного круга

Для достижения оптимальных результатов полировальный круг может быть изготовлен из нескольких слоев различных полировальных материалов, каждый из которых выполняет определенную функцию [2]. Одним из вариантов таких слоев может быть применение трех различных материалов, а именно: слоя для предварительной полировки, предназначенного для удаления крупных неровностей и дефектов с поверхности лопатки на начальных стадиях полировки; промежуточного слоя, для окончательной чистовой полировки с получением требуемых характеристик поверхностного слоя и слоя отделочной обработки, из мягкого полировального материала, обеспечивающего финишную обработку поверхности, например глянцеование [3].

При этом, помимо выбора материалов, важным аспектом является профилирование полировального круга. Круг может быть специально сформирован с учетом геометрии лопатки турбины, что обеспечит оптимальный контакт с поверхностью и позволит достичь высокого качества полировки даже на сложных участках. Профилирование может осуществляться различными способами, например, с помощью механической обработки, 3D-печати или специальных форм для прессования [4].

Одним из таких инструментов может выступать комбинированный полировальный круг, выполненный из трех слоев равной толщины выполненных из различных полировальных материалов, фасонной, симметричной, образованной рядом сопряженных конических поверхностей с различным углом конусности с общей

центральной вершиной формы, приведенный на рис. 1., где 1, 2 и 3 – слои различного полировального материала, отличающегося своими абразивными и механическими свойствами, позволяющие выполнять операции предварительного и окончательного полирования, а также глянцеования, без необходимости смены инструмента [5].

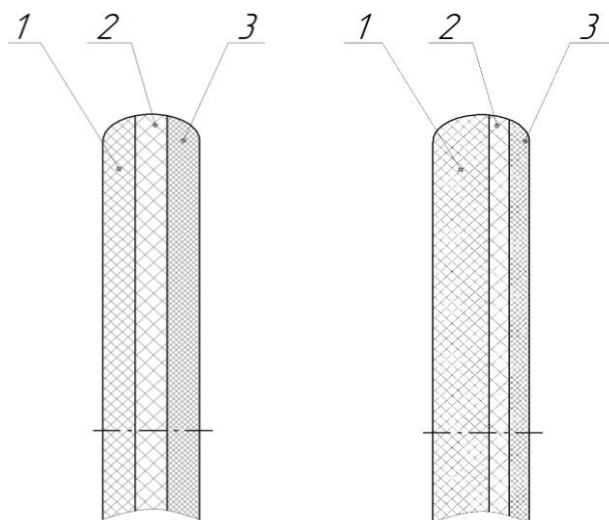


Рис. 2. Варианты общего вида комбинированного круга

Фасонная, симметричная форма круга позволяет выполнять операции полирования одновременно только одним слоем полировального материала, при этом, обеспечивая возможность перехода к другим слоям с минимальными затратами времени. Последовательный переход от обработки первым к обработке



Рис. 3. Общий вид функционально-ориентированного полировальника

неравномерной толщины, для обеспечения равномерного износа каждого слоя приведен на рис. 3.

Таким образом, предложенный многослойный полировальный круг представляет собой перспективное решение, способное значительно повысить эффективность и качество отделочной обработки сложнопрофильных деталей в авиационной и других отраслях промышленности.

Список литературы: 1. Михайлов, А. Н. Анализ влияния деструктивных факторов на выход из строя лопаток турбины ГТД и локализация зон их действия / А. Н. Михайлов, А. В. Анастасьев, Н. С. Пичко // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : Материалы Шестой национальной (всероссийской) научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 09–10 ноября 2023 года. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2024. – С. 111-113. 2. Михайлов, Д. А. Некоторые особенности полировки криво-линейных поверхностей лопаток ГТД из титановых сплавов / Д. А. Михайлов // . – 2014. – № 3(49). – С. 120-127. 3. Ящерицын, П.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов / П.И. Ящерицын, А.Г. Зайцев, А.И. Барботько. – Минск: «Наука и техника», 1976. – 328 с. 4. Макаров, В. Ф. Разработка высокоэффективных технологических процессов обработки деталей газотурбинных двигателей для авиации и наземных установок / В. Ф. Макаров // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 1(40). – С. 159-166. 5. Макаров, В. Ф. Проблемы автоматизации финишной обработки сложнопрофильных поверхностей лопаток ГТД / В. Ф. Макаров, В. А. Жукотский, Е. Н. Бычина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 8-2. – С. 52-55

последним слоем позволит реализовать предварительное и окончательное полирование вместе с глянцеваанием за один проход, без необходимости в смене инструмента.

При этом, форма и толщина каждого слоя круга может быть различна (рис. 2). Например, спрофилирована по радиусу, обеспечивающему возможность проведения обработки каждым слоем материала, при этом слои абразивных материалов различной зернистости выполнены равной толщины (рис. 2, а), или же из слоев материала различной толщины, для обеспечения более равномерного износа каждого функционального слоя (рис. 2, б).

Пример реализации такого функционально ориентированного полировальника, состоящего из трех слоёв различных материалов

УДК621.9.06

**РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТАНКОВ
ТОКАРНОЙ ГРУППЫ****Лахин А. М., Мороз О. В.** (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Российская Федерация)

***Аннотация.** В статье исследованы особенности модернизации станков токарной группы с целью расширения их технологических возможностей для новых способов механической обработки. Предложен способ модернизации станка путем дооснащения суппорта фрезерным шпинделем.*

***Ключевые слова:** станок, технология, качество, производительность*

В настоящее время станки токарной группы получили наибольшее распространение в машиностроении. Это связано с их широкими технологическими возможностями, возможностью применения большого разнообразия режущего инструмента, технологической оснастки для установки заготовок и наладки станка на размер [1]. Между тем, наиболее приспособленными для обработки на токарных станках являются детали типа тела вращения ввиду наличия большого количества простой по конструкции стандартной технологической оснастки и формообразующим движениям, описывающими форму тела вращения концентричных поверхностей. Именно детали данной группы являются наиболее распространенными в машиностроении.

Современный подход в машиностроительном производстве требует применения малооперационных технологий, обеспечивающий концентрацию операций технологического процесса [3]. В производстве данное направление отражается широким использованием станков типа обрабатывающий центр с ЧПУ, которые доказывают свою эффективность при производстве не только сложных корпусных деталей, но и деталей типа тела вращения, со сложными криволинейными поверхностями, пазами, каналами и системами отверстий.

На основании вышесказанного, целью данной работы является исследование возможностей расширения технологических возможностей станков токарной группы и определение дальнейших путей их модернизации.

Станки токарной группы являются наиболее часто встречающимися в механических и ремонтно-механических цехах машиностроительных заводов и вспомогательных структурных подразделений заводов. Их использование на предприятиях осуществляется как по прямому назначению для выполнения таких переходов как: точение, растачивание, сверление отверстий, нарезание резьбы, прорезание пазов, накатка рифлений; так и для выполнения ряда особых технологических переходов, обеспечивающих обработку прецизионных поверхностей с высокими параметрами качества поверхностного слоя. К таким переходам относятся: суперфиниширование, доводка (тонкая притирка), полирование, обкатка (раскатка), алмазное выглаживание, магнито-абразивная обработка, плазменное точение и другие методы [2]. Выполнение данных переходов, хоть и требует специальной наладки оборудования, выполняется с использованием базовых узлов станка, и не сопряжена со значительными затратами на наладку оборудования.

Несмотря на широчайшие возможности токарных станков, на практике довольно редко применяются схемы обработки отдельных несимметричных элементов, таких как: пазы, лыски, смещенные и радиальные отверстия.

Многооперационные станки с ЧПУ типа обрабатывающий центр, несмотря на большую популярность, имеют очень высокую стоимость, и большие затраты при эксплуатации, что отражается значительным увеличением себестоимости продукции. Их использование обосновано для сложных корпусных деталей, а также для обработки сложных криволинейных поверхностей с базами в форме тел вращения. Для изделий средней сложности, имеет смысл модернизация станков токарной группы, поскольку такая модернизация позволяет исключить некоторые операции, снижая трудоемкость обработки изделия и повышая производительность за счет сокращения вспомогательного времени обработки.

В последнее десятилетие получили распространение станки с ЧПУ портального типа, имеющие возможность перемещения по трем координатным осям, с осевым обрабатывающим инструментом (рис. 1). Эти станки имеют достаточно большое рабочее пространство и возможность доступа инструмента к любой точки рабочего поля.

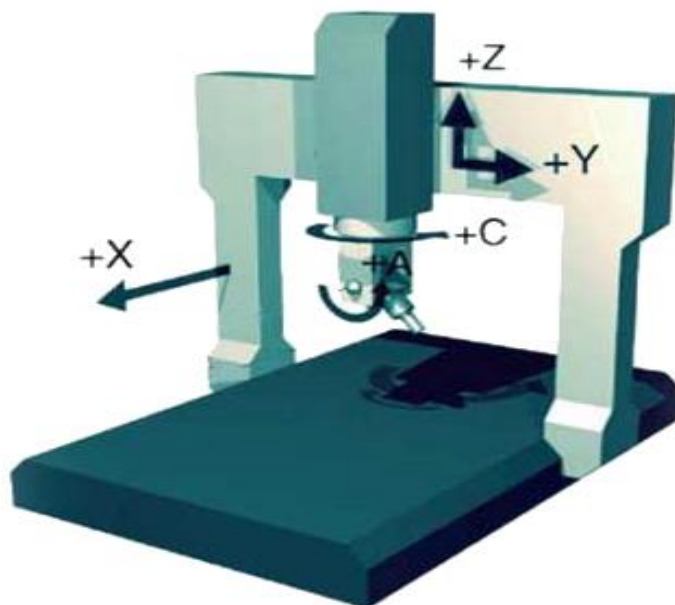


Рис. 1. Компонентная схема ЧПУ станка портального типа

При использовании такой конструкции для токарных станков, два взаимно перпендикулярных перемещения по осям X и Y могут быть объединены с продольным и поперечным движением суппорта токарного станка. Таким образом, модернизация токарного станка сводится к установке на поперечные салазки суппорта токарного станка фрезерного приспособления. Подобные конструкции встречаются на практике (рис.2), однако их применение сводится к фрезерным или сверлильным работам для деталей, установленных в приспособлении на месте резцедержателя. В этом случае, подвижные элементы суппорта выполняют роль координатного стола. Вертикальное перемещение по оси Z является настроечным, без автоподачи.



Рис. 2. Конструкция токарно-фрезерного станка

В станках предлагаемой конструкции (рис. 3) инструмент также установлен во фрезерный шпиндельный узел 5. Поворотные салазки суппорта, вместе с резцедержателем, демонтируются с суппорта 2 токарного станка, после чего на их место устанавливается П-образный портал 4, который с помощью болтов и резьбовых отверстий, закрепляется на салазках поперечного перемещения суппорта 2. Суппорт опирается на направляющие станины 1. Приводом фрезерного шпинделя является электродвигатель 6. Привод фрезерного шпиндельного узла снабжен механизмом вертикальной подачи (перемещение по оси Z). При этом перемещение по оставшимся осям (X и Y) выполняется посредством базовых узлов привода подачи суппорта. Во время обработки шпиндель заготовки фиксируется с помощью дополнительного стопорного устройства. При этом коробка скоростей шпинделя детали переключается в нейтральное положение. Деталь может быть установлена консольно в кулачковом патроне, либо с поджимом центром задней бабки 3.

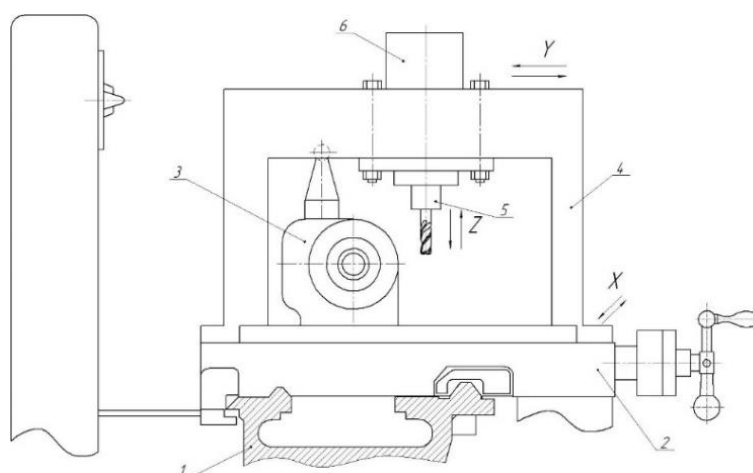


Рис. 3. Модернизация токарного станка путем установки фрезерного приспособления на суппорт.

При обработке деталей на предложенной конструкции модернизированного токарного станка, появляется возможность обработки на деталях типа тела вращения

таких элементов как: пазы, лыски, шлицы, радиальные отверстия на наружных ступенях детали. При установке угловой насадки-адаптера в шпиндель также возможна обработка торцовых пазов и сверление отверстий, параллельных оси детали.

Использование предложенной конструкции портального фрезера совместно с револьверной головкой специальной конструкции позволит чередовать токарную обработку с фрезерованием и сверлением, таким образом реализуя принцип постоянства баз. При этом исключаются погрешности установки детали на соответствующие операции.

Таким образом, предложенный способ модернизации токарного станка позволяет, используя принцип концентрации технологических операций, исключать дополнительные технологические операции, использовать принцип постоянства баз, уменьшить количество операций и сократить парк обрабатывающего оборудования. Оснащение приводов перемещения суппорта сервоприводами с устройствами их управления, а также устройством энкодера на шпинделе заготовки, позволит выполнять обработку заготовки по 4-м управляемым координатам. В результате этого появится возможность обработки сложных периодических профилей по наружной цилиндрической поверхности таких как: шлицы, пазы, зубья зубчатых колес, рабочие поверхности крыльчаток турбин и прочие сложные поверхности.

Список литературы: 1. Фещенко В.Н., Махмутов Р.Х. Токарная обработка. – М.: Высшая школа - 1990 г. – 303 с. 2. Камышный Н. И., Стародубов В.С. Конструкции и наладки токарных автоматов и полуавтоматов. М.: Высшая школа. 1988 г. – 256 с. 3. Справочник токаря-универсала / под ред. М.Г. Шеметова и В.Ф. Безъязычного. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 576 с.

УДК 621.01:378.147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ**Приходченко Е. И.** (кафедра, ИПЛ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, РФ)**Бабанин А. Я.** (ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, РФ)**Кикош Т. А.** (кафедра МОЗЧМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, РФ)

***Аннотация.** Рассмотрен один из методов повышения качества образования будущих инженеров. Эффективное решение задач современного машиностроения требует использование дополнительных современных технологий в образовании. Большинство студентов, сознательно выбирающих профессию инженера, зачастую предрасположены к изобретательской и творческой деятельности. Одной из основных задач образовательного процесса, является полноценно раскрыть потенциал и пробудить интерес к обучению. Предлагается решение данной задачи, через внедрение интерактивных технологий в образовательный процесс.*

***Ключевые слова:** машиностроение, инженер, интерактивность, визуализация, наглядность.*

1. Введение

Машиностроение, прежде всего представляет собой отрасль промышленности, которая занимается проектированием, изготовлением, а также обслуживанием машин и технологического оборудования, является ведущей отраслью народного хозяйства. Машиностроительную промышленность можно абсолютно точно назвать основным двигателем для развития научно-технического процесса в других отраслях промышленности. Можно выделить основные задачи, которые ставятся перед машиностроением. Прежде всего это повышение качества и технологичности разрабатываемых машин, а также увеличение роста производительности труда на предприятиях путем совершенствования технологических процессов. Но ключевую роль в машиностроении, несомненно, занимают технологические инновации, которые являются основой повышения качества проектирования, увеличения производительности, а также технологичности производимых машин [1].

Для развития машиностроительной отрасли, необходимы так называемые «генераторы технологических инноваций». Кого или что можно отнести к «генераторам технических инноваций», каковы их функции и задачи? В современном машиностроении наиболее близкой профессией к этому определению является инженера-конструктор, который занимает важнейшее звено в машиностроительной отрасли, он проектирует и разрабатывает, механизмы, технологическое оборудование и машины из ресурсов доступных в современном материальном производстве.

На инженера-конструктора, как на творческого работника и создателя проекта, возложена огромная ответственность за принятые конструктивные решения. Задача конструктора состоит в создании машин, полно отвечающих потребностям народного хозяйства, дающих наибольший экономический эффект, имеющих наиболее высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели и отвечающих всем необходимым требованиям безопасности [2]. «Генератор технологических инноваций» - это специалист машиностроительной отрасли, инженер, который разрабатывает, проектирует, модернизирует и комбинирует технические устройства для создания более совершенных новых полезных устройств. Он является творческим человеком,

носителем, генератором новых идей, что позволяет подойти к решению возникающих производственных проблем нестандартно и рационально.

2. Основное содержание и результаты работы

Особенности подготовки инженеров машиностроительного направления. Исследованием проблемы повышения качества профессиональной подготовки инженеров занимались многие исследователи.

Процесс профессиональной подготовки инженера-конструктора исследован в работе Р. В. Габдреева, где были рассмотрены возможности и пути улучшения качества профессиональной подготовки за счет обращения к психологическим составляющим и оперированием свойствами объекта в мышлении инженера [3].

В работах Т. В. Кудрявцева, В. А. Моляко, Г. С. Альтшуллера, Б. А. Душкова и А. Ф. Эсаулова с психологической точки зрения деятельность инженера-конструктора исследовалась прежде всего, как интеллектуальный, мыслительный, творческий процесс, как оперирование образами и понятиями, как применение различных методов проектирования, способов решения многообразных технических задач. Также через особенности профессионального мышления инженеров различных специальностей исследовалась система профессионально важных качеств [4].

Работы всех вышеперечисленных авторов несомненно имеют огромное значение для исследования особенностей подготовки инженеров машиностроительного направления и повышения ее качества. Одной из главных идей в перечисленных работах является обоснованный, рациональный выбор профессии и последующее профессиональное самоопределение обучающихся, а также их личные качества и психологические особенности. Предполагает обращение к индивидуальным возможностям, резервам каждого человека.

Обучение по существующим программам, несомненно способствует подготовке инженеров, которые приобретают высокий профессиональный уровень, при условии наличия у обучающихся необходимых личностных качеств, заинтересованности и мотивации.

У большинства студентов, сознательно выбирающих профессию инженера-конструктора, зачастую развита предрасположенность к изобретательской и творческой деятельности. Они видят эту профессию как возможность реализации своих способностей, желают посвятить себя созданию новых либо модернизации уже существующих механизмов. Однако, ожидая от профессии связанной с изобретательством чего-то возвышенного и не имея возможности полноценно раскрыть свой потенциал на занятиях, у многих студентов наблюдается потеря интереса к обучению, что, в конечном итоге, отрицательно влияет на весь процесс их профессиональной подготовки.

С целью предотвращения развития вышеописанного процесса, возникает необходимость дополнить процесс обучения путём использования современных интерактивных технологий.

Повышение качества современного образования за счет использования интерактивных технологий в обучении. Интерактивные технологии в обучении – это один из видов инновационных технологий обучения, которые в процессе приобретения профессиональных знаний ориентированы на обязательное взаимодействие обучающихся с преподавателем, друг с другом и техническими устройствами.

Организация интерактивных технологий в образовательный процесс предполагает не только опору на традиционные принципы обучения, а также на ряд специфических принципов:

1. Активность и взаимосвязь, благодаря которым педагог и обучающиеся вовлечены в процесс поиска решений.
2. Использование технических средств визуализации.
3. Равенство в общении, которое обеспечивает, открытое обсуждение представленной темы.
4. Экспериментирование и творческий подход в решении поставленной задачи.

Эффективность применения интерактивных технологий зависит не только от тесного взаимодействия преподавателя и обучающихся. Одну из основных составляющих успешного применения данной технологии в обучении инженеров машиностроительного направления, занимает применение информационно-коммуникационных средств визуализации и других форм наглядности. Основой эффективности интерактивного обучения, является наглядность. Преимущество наглядности перед другими методами обучения инженеров машиностроительного направления выделяли многие исследователи. П. И. Орлов в своих трудах выделяет особое внимание изложению материала Автор придерживается принципа «qui vidit – bis legit» («кто видит тот дважды читает»). Исследователь подчёркивает, что инженеры и конструкторы в большинстве своем люди зрительного восприятия и мышления. «Для них чертеж, даже простой эскиз, говорит гораздо больше, чем многие страницы объяснений», отмечал он [2].

Многие исследователи профессиональной деятельности инженера-конструктора упоминают важность в этой деятельности определенной организованности восприятия, которую называют то "технической наблюдательностью", то "умением видеть" конструктивную сущность объекта. В частности, "умение видеть" структурные, функциональные и информационные особенности конструируемого объекта было выделено Р. В. Габдеевым как профессионально важное качество инженера-конструктора, сформированность которого входит в определение высокого уровня профессионального развития субъекта деятельности [4]. В XXI веке, веке цифровых технологий, пренебрегать возможностями современных средств визуализации для обучения инженеров машиностроительного направления, является ошибкой. Стремительное развитие приборов, устройств и механизмов, в которых количество деталей и узлов увеличивается, а технологических процессов усложняется, не позволяет в полной мере изучить и понять «сущность объекта», применяя устаревшие технологии обучения. Обучающемуся нужно «заглянуть» внутрь, разложить сложный механизм на более простые составляющие, увидеть структуру и понять суть. Такие возможности предоставляют современные информационно-коммуникационные средства. К ним можно отнести: интерактивные доски, планшеты, проекторы и компьютеры, которые занимают ключевое значение для подготовки инженерных специальностей. Например, лучше показать схему, чертеж или изображение бетономешалки с обозначениями и объяснениями, чем предоставить «голое» описание ее компонентов. Еще эффективней, продемонстрировать компоненты и внутреннее строение бетономешалки на проекторе или цифровом мониторе, обратить внимание на узлы и особенности конструкции наглядно с помощью визуализации 3Д модели и разработки анимации.

Необходимо обеспечить обучающихся занятиями, на которых будут представлены технические средства, которые с первого взгляда могут не нуждаться в модернизации или совершенствовании. С помощью интерактивных компонентов

цифровой визуализации будет изучена структура и особенности строения рассматриваемой модели. При этом задачей обучающихся в ходе обсуждения и дискуссий между собой и преподавателем будет поиск путей рационального улучшения конструкции, изменения процессов, геометрических особенностей, материалов и т. д. Это, в свою очередь, будет способствовать раскрытию потенциала обучающихся, обеспечивать заинтересованность и развивать изобретательский навык. В современном мире многообразие механизмов и систем настолько велико, что придумать что-то новое, посмотреть на рассматриваемую конструкцию с другой стороны порой невозможно. Чтоб такого не происходило, необходимо развивать воображение, наблюдательность, воспитывать навык нестандартного мышления, развивать значимость собственного мнения и умение выслушать чужое.

3. Заключение

Максимальное использование интерактивных технологии в обучении инженеров машиностроительного направления будет способствовать повышению наблюдательности, развитию нестандартного мышления, выводить на новый уровень умение конструктивно доказывать собственное мнение, развивать способность слушать, слышать и анализировать полученную информацию. Бесспорно, в современном мире, перенасыщенном многообразием различных механизмов, очень сложно внести что-то новое или кардинально отличающееся, но при этом правильное использование всех доступных современных средств обучения в конечном итоге поможет подготовить не просто хороших инженеров или конструкторов, а специалистов, которых гордо можно назвать «генераторами технологических инноваций».

Список литературы. 1. Ковшов А. Н. Технология машиностроения / А. Н. Ковшов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 320 с. 2. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1 / П. И. Орлов. – 2-е изд. – Москва: Машиностроение, 1977. – 623 с. 3. Габдреев Р. В. Психологические резервы инженерной подготовки: дис. ... доктора психол. наук: 1990 / Габреев Рустэм Вагизович / Киев. гос. ун-т им. Т. Г. Шевченко. – Киев, 1990. – 421 с. 4. Афанасьева Е. А. Психологические особенности профессионального восприятия: Специалистов машиностроительного профиля: дис. ... канд. псих. наук: 1998 / Афанасьева Елена Алексеевна / Казанский гос. технич. ун-т. – Казань, 1998. – 237 с. 5. Комарова А. А. Использование интерактивных технологий в образовательном процессе: выпускная квалификационная работа / А. А. Комарова; Рос. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург, 2018. – 67 с. 6. Моляко В. А. Психология конструкторской деятельности / В. А. Моляко – Москва: Машиностроение, 1983. – 134 с. 7. Кудрявцев Т. В. Психология технического мышления / Т. В. Кудрявцев – Москва: Педагогика, 1975. – 304 с.

УДК 629.1.013: 621.9.048

СПОСОБ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРШНЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ ДВС**Савенко Э. С., Гончаров А. М.***(кафедра АТСЭ, ДОННАСА, г. Донецк, ДНР, Россия)*

Аннотация. В статье описан метод восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи. Определена степень влияния электрических параметров этого процесса на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия. Выбрана оптимальная технология восстановления и определены оптимальные параметры процесса электрогидравлической раздачи. Разработаны технические требования на восстановление поршневых пальцев. Спроектирован технологический узел раздачи поршневых пальцев. Определены основные технические характеристики параметров электроразрядного устройства установки. Рассмотрены схемы восстановления цилиндрических деталей машин, с помощью электрогидравлического эффекта. Расчетным методом определены режимы и параметры процесса электрогидравлической раздачи поршневых пальцев с сохранением их усталостной долговечности, статической прочности и износостойкости.

Ключевые слова: восстановление, поршневой палец, электрогидравлическая раздача, износ, ремонтный размер, электроразряд, пластическое деформирование металла, электромагнитная энергия, энергия взрывчатых веществ.

1. Введение

Основная задача создания и повсеместного внедрения принципиально новой техники и материалов заключается в экономии сырья и топливно-энергетических ресурсов, а также во вторичном использовании материальных ресурсов [1]. В связи с этим большое значение имеет разработка прогрессивных технологических процессов, в особенности процессов восстановления деталей массового производства [2]. К таким относится поршневой палец автомобильных двигателей. Только в автомобильной промышленности ежегодно изготавливается свыше 50 млн. поршневых пальцев диаметром 20-58 мм, длиной 45-114 мм и массой 0,1-1,750 кг. [3].

Анализ существующих технологий восстановления поршневых пальцев ДВС показал, что существующие способы восстановления поршневых пальцев, в ряде случаев, отличаются сложностью процесса, низкой производительностью, значительными расходами тепловой и электрической энергии [4]. Ни один из существующих способов не является универсальным и по различным причинам неприменим для восстановления всех видов поршневых пальцев.

Анализ особенностей электрогидравлической обработки установил, что этот процесс является одним из перспективных способов восстановления поршневых пальцев ДВС. Данным способом возможно восстановление поршневых пальцев всех видов двигателей, из любого материала и при любой геометрии внутреннего сечения.

2. Актуальность работы

В настоящее время получило развитие применение высокоэнергетического способа пластического деформирования металла с использованием энергии высоковольтного импульсного разряда в жидкости - электрогидравлический эффект, а

на его основе электрогидравлической обработки.

Цель работы: Влияние параметров способа электрогидравлической раздачи на эффективность деформации и изменение физических свойств поршневых пальцев ДВС.

Задачи работы:

- выбрана оптимальная технология восстановления и определены оптимальные параметры процесса электрогидравлической раздачи;
- разработаны технические требования на восстановление поршневых пальцев;
- спроектирован технологический узел раздачи поршневых пальцев.
- определены основные технические характеристики параметров электроразрядного устройства установки;
- разработаны схемы восстановления цилиндрических деталей машин.

Поршневой палец двигателя внутреннего сгорания подвергается воздействию нагрузок, вызванных давлением газов и инерцией массы поршня и колец. Характер нагрузки переменный, ударный. Ресурс, надежность и долговечность кинематических пар «поршневой палец – втулка» и «поршневой палец - поршень» определяется износостойкостью их рабочих поверхностей. В процессе работы к этим поверхностям смазка, в основной массе конструкций, подается разбрызгиванием. Несмотря на то, что моторное масло подвергается фильтрации, в нем в виде отдельных частиц встречается абразив. В связи с указанными условиями смазки рабочие поверхности пальцев работают в условиях граничного трения.

Выбор оптимальной технологии восстановления поршневых пальцев ДВС способом ЭГР должен проводиться на основе анализа влияния параметров процесса на эффективность деформации пальцев при сохранении их физических свойств, установленных нормативной технической документацией. В результате таких исследований, в частности, применительно к поршневому пальцу двигателя ЗИЛ-5301, можно получить закономерности и количественные показатели соотношения изменения величины деформации пальца и его физического состояния, с одной стороны, и изменения параметров взрывного патрона, рабочей среды и электрического разряда, с другой, что позволит выбрать оптимальный технологический процесс восстановления [5].

Влияние электрических параметров процесса ЭГР, параметров взрывного патрона и состава передающей жидкости на эффективность деформации поршневого пальца оценивалось либо по величине изменения наружного диаметра последнего, либо по величине давления гидропотока, создаваемого внутри полости.

Первоначально определялись оптимальные геометрические параметры, материал и конструкция изолятора, материал и диаметр взрывающейся проволоки, состав рабочей передающей жидкости.

Оптимальные параметры определялись при обеспечении либо максимальной деформации образца, либо максимального давления гидропотока при минимальных энергетических затратах.

Применяемый для изготовления изолятора диэлектрик должен исключать возможность замыкания искрового разряда на поверхность детали, создавать герметизацию внутренней полости и обеспечивать технологичность изготовления.

Рабочее напряжение при ЭГР достигает 30-50 кВ, поэтому в целях безопасности выбирался материал патрона, который обеспечивал электрическую прочность при напряжении 65 кВ.

Изменение величины напряжения от 25 до 50 кВ обеспечивалось изменением расстояния между шарами в формирующем разрядном устройстве от 8,5 мм до 17,5 мм.

Индуктивность ЭГУ по выполненной монтажной схеме составляла 5,6 МГн. Межэлектродное расстояние между длиной поршневого пальца 82 мм.

Взрывающаяся проволока служит для инициирования разряда. Для этих целей применяли проволоку из алюминия, меди, стали, нихрома и других материалов.

Рабочая среда, применяемая при ЭГР, должна обеспечивать создание мощного гидротока, который передает давление на стенки детали. Жидкость, раствор должны быть технологически применимы в производственных процессах. Используют для этих целей техническую воду, глицерин, масло и другие материалы.

Рабочая среда (вода, масло) подавалась непосредственно во внутреннюю полость детали или устройства, где осуществлялся электрический разряд, или же помещалась заранее в герметичный корпус патрона (глицерин и различные компоненты на его основе).

Разработка технологии восстановления поршневых пальцев способом ЭГР выполнялась на примере поршневого пальца карбюраторного двигателя ЗИЛ-5301, изготавливаемого в соответствии с ГОСТ 1776-88 из стали I5X ГОСТ 4543-88 и стали 45 ГОСТ 1050-88 по чертежу Ш-1004020.

Исследования влияния глубины цементованного, закаленного слоя на пластичность изделия рассматривались образцы, изготовленные из сталей марки I5X, I2XH, 45 по чертежу поршневого пальца двигателя ЗИЛ-5301 № 130-1004020.

Спроектированный технологический узел предназначен для размещения поршневого пальца совместно с патроном разового действия, герметизации внутренней полости пальца, подвода технологической жидкости и электрического разряда, осуществления раздачи.

Технологический узел (рис. 1) состоит из подвижной плиты 7, клинового зажима 5, 6, поворотного стола 12 с гнездами 14 для размещения пальцев в сборе с патронами разового действия. Гнезда для размещения пальцев съемные и меняются в зависимости от геометрических размеров восстанавливаемых пальцев.

Генератор импульсов тока состоит из силового трансформатора, статических конденсаторов, формирующего разрядного устройства и предназначен для обеспечения разряда необходимой мощности.

Работа ЭГУ осуществляется в следующей последовательности: шток гидроцилиндра 2 перемещает подвижные клинья 6 совместно с плитой 7 и подвижным электродом 9 до упора в поршневой палец, установленный в гнездо 14 поворотного стола 12, и заклинивает клинья 5 и 6, чем обеспечивается герметизация взрывной полости. Рабочая жидкость по каналу в отрицательном электроде 15 заполняет герметизированную внутреннюю полость поршневого пальца. Накопленная в статических конденсаторах до требуемой величины электрическая энергия через формирующее устройство поступает на подвижный электрический электрод 9, цепь замыкается на неподвижный электрод 15, и осуществляется электрический разряд.

После осуществления электроразряда шток 2 приподнимает плиту 7 и электрод 9 в верхнее положение, поворотный стол 12 поворачивается на 30°, выталкиватель выбрасывает розданный палец в накопитель.

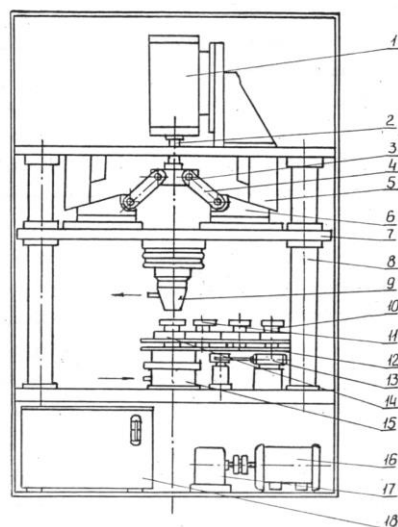


Рис. 1. Технологический узел ЭГУ:

1 – гидроцилиндр; 2 – шток цилиндра; 3 – вилка; 9 – тяга; 5 – неподвижный клин; 6 – подвижный клин; 7 – плита подвижная, 8 – колонна направляющая; 9 – подвижный положительный электрод; 10 – палец поршневой; 11 – электроизоляционный патрончик; 12 – стол поворотный; 13 – гидроцилиндр поворота стола; 14 – гнездо, 15 – отрицательный электрод; 16 – электродвигатель привода маслососа, 17 – насос масляный; 18 – емкость с маслом.

Электрогидравлическая раздача повышает производительность труда и экономическую эффективность при восстановлении поршневых пальцев по сравнению с существующими способами восстановления и не ухудшает их показателей прочности и износостойкости. Это позволяет рекомендовать указанный метод и для восстановления других деталей.

Так, этот метод был использован для восстановления посадочных мест под подшипники трубы полуоси автомобиля ЗИЛ-433110. Восстановление производилось с помощью подвижного электрода, который настраивался периодически под каждое посадочное место. Глухая заглушка с противоположной стороны создала герметическую полость, заполняемую водой, и служила вторым электродом (рис. 2). Разряд подводился через подвижный электрод. В связи с тем, что разрядный промежуток составлял 20 мм, а диаметр трубы 50 мм, применяли один электрод без инициирования разряда. Величина раздачи трубы полуоси по наружному диаметру в местах под подшипники составляла 0,5-1,0 мм.

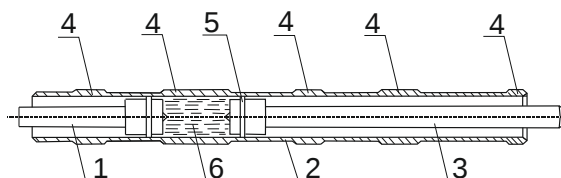


Рис. 2. Схема восстановления шеек трубы полуоси, с помощью электрогидравлического эффекта.

1 – отрицательный электрод; 2 – труба полуоси; 3 – положительный электрод; 4 – восстанавливаемая шейка; 5 – электроизоляционное и уплотнительное кольцо; 6 – камера

Раздача гильзы цилиндров № 5301-1002020 по наружному диаметру в местах изношенных поясков для их восстановления и одновременного уплотнения рабочей внутренней поверхности детали за счет ударной волны с целью повышения ее износостойкости. Раздача осуществлялась в специальной прессформе (рис. 3) с постоянным электродом.

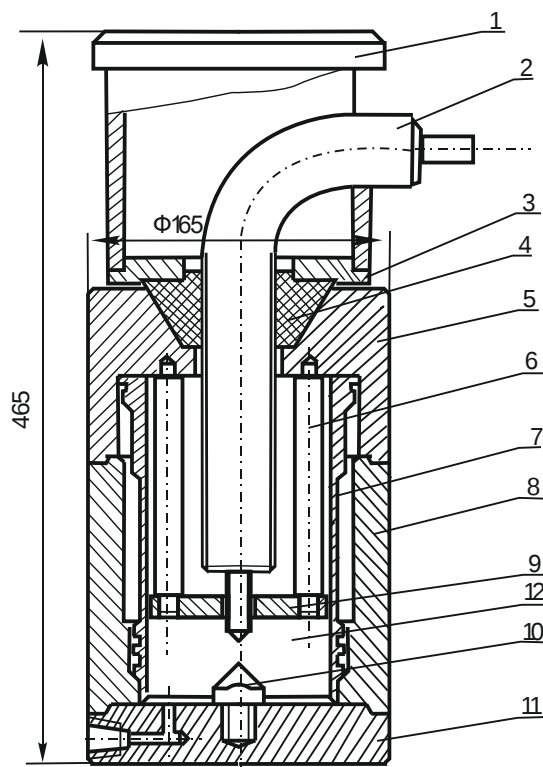


Рис. 3. Приспособление для раздачи гильзы цилиндра двигателя ЗИЛ-5301

1 – стакан; 2 – электрод; 3 – фланец; 4 – гайка; 5 – крышка; 6 – стойка; 7 – гильза цилиндра; 8 – обойма; 9 – отражатель; 10 – электрод; 11 – основание; 12 – камера.

Способом ЭГР восстанавливают не только стальные, но и чугунные детали. Так, проводилось восстановление крышки подшипников ведущего вала коробки передач автомобиля ЗИЛ-5301, изготовленной из ковкого чугуна КЧ-35-10. Крышка имеет износ по наружной поверхности в месте установки выжимного подшипника. Раздача осуществлялась в ванне с водой на величину 0,5-0,9 мм. Восстановлению подвергались также чугунные кольца ГМП ЛАЗ-52528. Раздача осуществлялась в специальной прессформе помощью постоянного электрода (рис. 4).

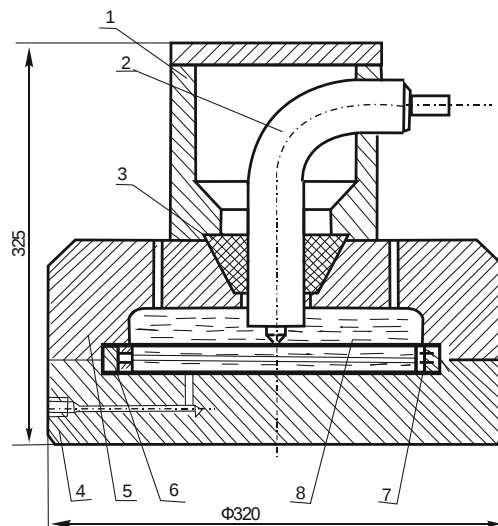


Рис. 4. Приспособление для раздачи колец ГМП

1 – стакан; 2 – электрод; 3 – гайка; 4 – камера; 5 – крышка; 6 – обойма; 7 – обрабатываемая деталь; 8 – камера

Осуществлялась осадка юбки поршня в специальной прессформе постоянным электродом (рис. 5).

Приведенные примеры подтверждают большие технологические возможности восстановления деталей способом ЭГР.

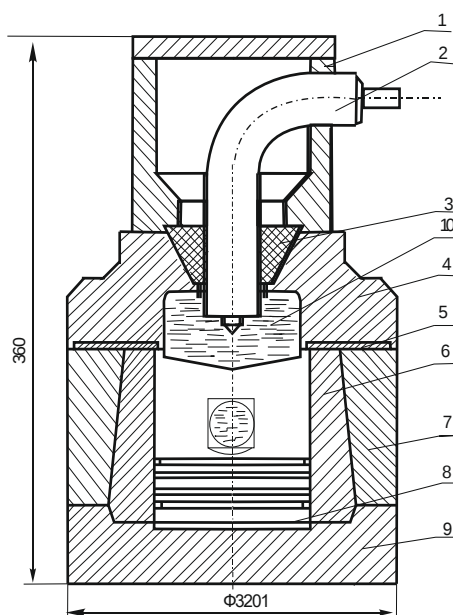


Рис. 5. Приспособление для осадки головки.

1 – стакан; 2 – электрод; 3 – гайка; 4 – крышка; 5 – прокладка; 6 – обойма; 7 – контейнер; 8 – прокладка; 9 – плита основания; 10 – камера.

Выводы по работе:

- описан метод восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи;
- выбрана оптимальная технология восстановления и определены оптимальные параметры процесса электрогидравлической раздачи;

- разработаны технические требования на восстановление поршневых пальцев;
- спроектирован технологический узел раздачи поршневых пальцев;
- определены основные технические характеристики параметров электроразрядного устройства установки;
- разработан технологический процесс восстановления разовых патронов для процесса электрогидравлической раздачи;
- представлены технологические схемы восстановления цилиндрических деталей автомобилей методом электрогидравлической раздачи.

Список литературы: 1. А.В. Дудан, М.С. Агеев, А.В. Рутковский, В.И. Мирненко, О.В. Радько. Исследование процесса вакуумного термоциклического азотирования в плазме пульсирующего тлеющего разряда. Построение математической модели процесса Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиноведение и машиностроение. г. Новополоцк: ПГУ, 2020. №4. С. 40 – 48. 2. Быков, И. А. Изготовление заготовок поршневых пальцев в автомобильной промышленности. / И. А. Быков, Т. А. Кузнецов. - Текст: непосредственный // Автомобильное производство. - 1984. - № 1. - С. 4-7. 3. Полупанов, Ф. П. Электрогидравлический эффект в ремонтном деле / Ф. П. Полупанов, К. Г. Балан, В. Н. Пономаренко. - Текст: непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 1972. - № 12. - С. 72-74. 5. Каспарьянц, А. Г. Использование электрогидравлического эффекта для восстановления поршневых пальцев. - Текст: непосредственный / А. Г. Каспарьянц, В. А. Какуевичкий // Автомобильный транспорт. – 1982. - № 8. - С. 103–106. 6. Савенко Э.С., Савенков Н.В., Матвиенко С.А., Каспарьянц А.Г. Моделирование процесса электроразряда при восстановлении поршневых пальцев ДВС // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 2. С. 242-255. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-242-255> 7. Технология применения способа электрогидравлической раздачи для восстановления деталей / Э. С. Савенко, С. А. Матвиенко, В. В. Симонов [и др.]. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2024. – Том 20, № 1. – С. 15-24. – URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2024/1/st_02_savenko_matvienko_simonov_belanov_gudolin.pdf.

УДК 621.452

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГТД

Огренич Д. В., Жарких Д. С., Киселица Д. О., Михайлов А. Н. (кафедра ТМ, ДонНТУ,
г. Донецк, ДНР, Россия)

Тел.: +79494104485; E-mail: dmitryogrenich@yandex.ru

Аннотация. В данной статье представлены общие рекомендации при проектировании технологического процесса ремонта и восстановления, в котором учитываются воздействия от среды, силовые факторы определяемых самой конфигурацией лопаток и действием различных внешних сил.

Ключевые слова: анализ, износ различных видов, компрессор, проектирование технологического процесса, напряжения, лопатки ГТД.

1. Введение

Ремонт и восстановления лопаток ГТД является довольно перспективным направлением, в процессе работы на лопатки действуют различные силы, и факторы среды в результате поверхности пера лопатки подвергаются износу.

Цель работы – определение основных особенностей при проектировании технологического процесса ремонта и восстановления лопаток ГТД.

Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач: рассмотреть под действием, каких сил и внешних факторов происходит износ и разрушение лопаток, выполнить анализ принципов проектирования технологического процесса ремонта и восстановления лопаток ГТД.

2. Основное содержание работы

В процессе работы лопатки подвергаются различным видам воздействий, под действием которых происходит потеря объема материала лопаток, что в свою очередь может привести к разрушению. Отмечается комплексный характер данных воздействий:

- коррозионные воздействия;
- воздействия инородных тел;
- эрозионные воздействия;
- абразивные воздействия;
- температурные воздействия;

В процессе эксплуатации кроме воздействий внешней среды на лопатки влияют силовые факторы определяемых самой конфигурацией лопаток и действием различных внешних сил показаны на рис. 1 [1]. В общем виде можно разделить нагрузки и напряжения на статические и динамические. В рамках данной работы мы рассмотрим действия от центробежных сил и вибраций. Расчет напряжений на растяжения от центробежных сил. В результате вращения колес компрессора центробежные силы приводят к растягивающим напряжениям в лопатках. При растягивающих напряжениях лопатки рассматривают как консольный стержень поперечного сечения (рис. 2) [2].

$$dC = \rho \omega^2 r_1 F(r_1) dr_1 \quad (1)$$

где ρ – плотность материала лопатки; ω – угловая скорость вращения;

$F(r_1)$ – площадь поперечного сечения на расстоянии r_1 от оси вращения колеса.



Рис. 1. Нагрузки и напряжения, действующие на лопатки [1]

Полная сила, растягивающая лопатку в сечении на радиусе r :

$$C(r) = \rho \omega^2 \int_r^R r_1 F(r_1) dr_1 \quad (2)$$

где R – наружный радиус лопаточного венца

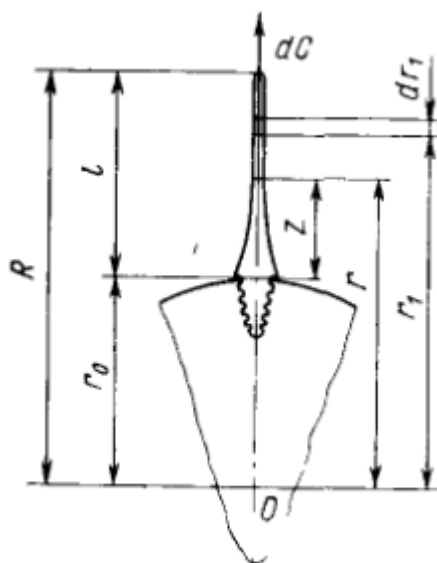


Рис. 2. Схема для определения растягивающих напряжений от центробежных сил [2]

При проектировании технологического процесса изготовления лопаток расчетом довольно точно определяют напряжения от действия центробежных сил, а также необходимые запасы статической прочности. С помощью данных расчетов выбираются исходные геометрические размеры лопаток. Но как мы отметили выше лопатки в процессе эксплуатации подвергаются различным видам воздействий, что в свою очередь ведет к потере объема материала и развитию различных дефектов на поверхности. При уменьшении опасных сечений под действием абразивно-эрозионного

износа и развитию трещин под действием коррозии важным фактором является вибрация (колебание) лопаток (рис. 3).

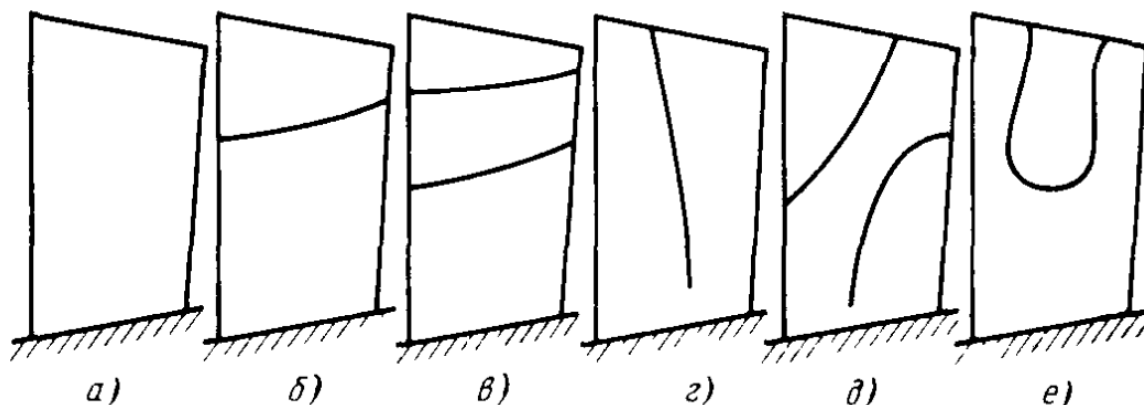


Рис. 3. а, б, в – первая, вторая и третья изгибные формы; г, д – первая и вторая крутильные формы; е – пластинчатая форма [2]

В процессе эксплуатации следует избегать совпадения частоты возбуждающей силы $f_{\text{возб}}$ и собственных частот лопатки $f_{\text{л}}$, т.к. это может привести к резонансу.

Условие резонанса [2]:

$$f_{\text{возб}} = f_{\text{л}} \quad (3)$$

При проектировании технологического процесса ремонта и восстановления необходимо рассматривать лопатку как сложную систему, в которой будет учитываться информация, полученная на этапах проектирования и эксплуатации. Общий алгоритм процесса ремонта и восстановления поверхностей лопаток представлен на рис. 4. При проектировании процесса изготовления лопатки рассчитываются нужной конфигурации формы и необходимого материала, но в процессе данного этапа мы не обладаем всей полнотой информации. После процесса эксплуатации, мы можем определить какие основные особенности процесса износа, как он влияет на поверхности и дать рекомендации на этап ремонта для повышения межремонтного ресурса, если это представляется возможным. В процессе ремонта лопатки подвергаются восстановлению формы, размеров и физико-механических свойств. Для того чтобы дать рекомендации и упорядочить полученную информацию на всех этапах, следует применять функционально-ориентированный подход (ФОП) [3, 4], с помощью которого полученную информацию на i -й операции ремонта (W_i) мы корректируем исходную информацию (V_i) для этапа проектирования технологического процесса изготовления.

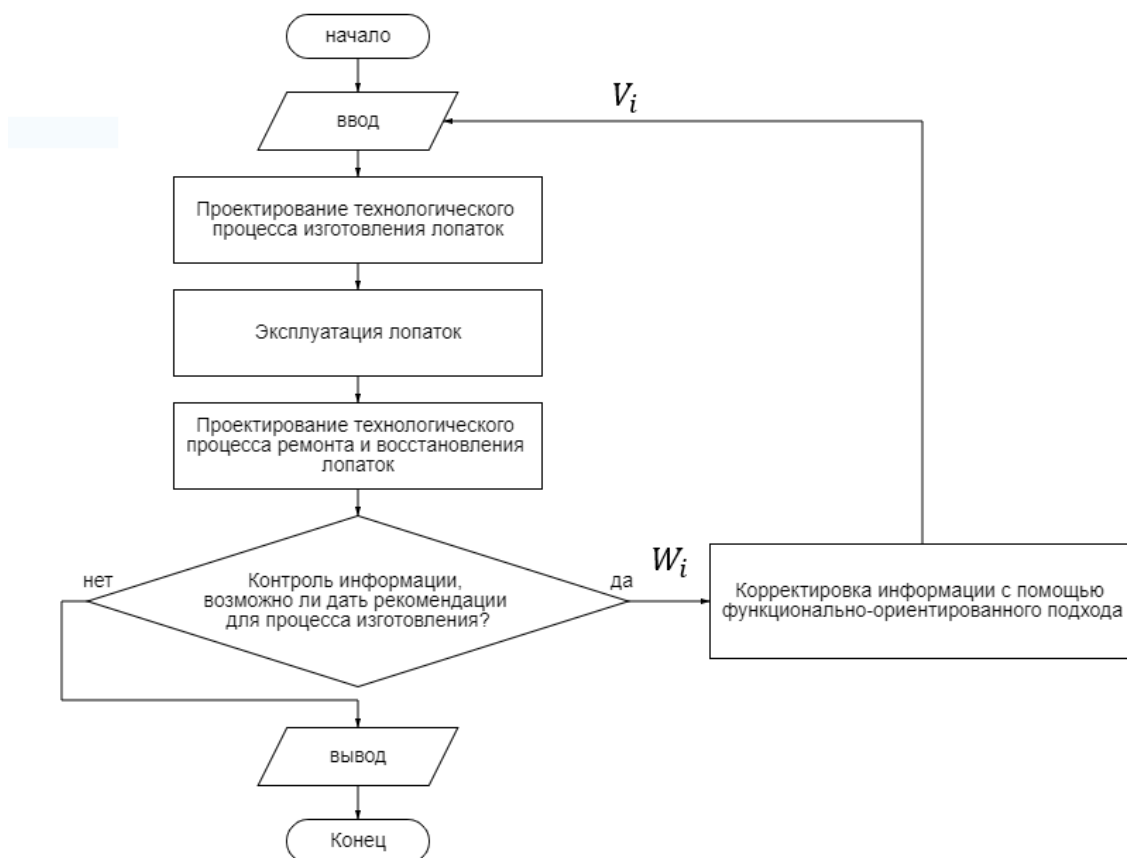


Рис. 4. Общий алгоритм процесса ремонта и восстановления лопаток

3. Заключение

Рассмотрели под действием каких сил и внешних факторов происходит износ и разрушение лопаток, выполнили анализ принципов проектирования технологического процесса ремонта и восстановления лопаток ГТД.

Список литературы: 1. Михайлов, А. Н. Основные особенности синтеза технологического процесса ремонта и восстановления лопаток компрессора ГТД / А. Н. Михайлов, Д. В. Огренич // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 4(87). – С. 54-62. – EDN GMLYIP. 2. . Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.: ил. 3. Михайлов, А. Н. Синтез технологического процесса ремонта и восстановления лопаток компрессора ГТД / Михайлов А. Н., Огренич Д. В., Пичко Н. С., Недашковский А. П. // Машиностроение и техносфера XXI // Сборник трудов XXX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2023 г. – Донецк: ДонНТУ, 2023. – С. 202-207. ISSN 2079-2670. 4. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с.

УДК 622.6

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ УГЛЯ НА
УЧАСТКЕ ВНУТРИШАХТНОГО ТРАНСПОРТА ФИЛИАЛА ШАХТЫ
«ИЛОВАЙСКАЯ» ГУП ДНР МАКЕЕВУГОЛЬ ПОСРЕДСТВОМ ЗАМЕНЫ
ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТА КОНВЕЙЕРНЫМ****Торченко Н. С.** (кафедра РПМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, Россия)

Аннотация. В статье проведен анализ публикаций в научно-технической литературе авторов, занимавшихся исследованиями, связанными с темой шахтного транспорта. Перечислен круг рассмотренных в каждой из работ вопросов, описаны полученные при этом результаты. Автором приведены предложения по совершенствованию процесса транспортирования угля.

Ключевые слова: участок внутришахтного транспорта, локомотивный транспорт, конвейерный транспорт, доставка угля.

Введение

Транспортные работы являются одним из основных и неотъемлемых технологических процессов на шахте. В практике горных работ используются различные виды транспортного оборудования с широким диапазоном технологических качеств.

На эффективность транспортных работ влияют большое количество факторов, основным из которых является применяемое оборудование. В случае каждого отдельного предприятия могут отличаться условия, в которых используется оборудование, и, следовательно, предпочтительное оборудование с экономической точки зрения и с позиции влияния на качество полезного ископаемого.

Требуется постоянный поиск новых направлений повышения эффективности, качества и экономичности транспортных работ за счёт оптимизации технологических и технических показателей и параметров, особенно в условиях неравномерности спроса на полезное ископаемое.

В связи с этим совершенствование способа транспортировки является актуальным для шахты «Иловайская», что позволит снизить затраты на выполнение данного процесса и повысить производительность участка шахтного транспорта.

Цель данной научной статьи – усовершенствовать процесс транспортировки угля на участке шахтного транспорта шахты «Иловайская» ГУП ДНР «Макеевуголь» посредством замены транспортного оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

— Изучить современные схемы транспорта горной массы на шахтах и влияние их на экономические показатели работы шахты;

— Выполнить анализ работы участка шахтного транспорта на шахте "Иловайская" и провести анализ работ по транспортированию полезного ископаемого локомотивной откаткой;

— Выбрать и обосновать рациональные параметры вводимого транспортного оборудования на участке шахтного транспорта филиала шахты «Иловайская» ГУП ДНР «Макеевуголь».

Транспорт горных предприятий представляет собой сложную систему взаимосвязанных транспортных звеньев как внутри предприятия, так и за его пределами.

По месту работы шахтный транспорт классифицируется на внешний и внутренний (внутришахтный).

Транспортировку материалов и оборудования с поверхности шахты непосредственно к лаве осуществляют рабочие участка ВШТ по заявкам участков, по технологическим паспортам откатки, действующие на ВШТ и утвержденным главным инженером шахты.

Перевозка людей к рабочим местам по магистральным, горизонтальным выработкам осуществляется электровозной откаткой, по магистральным наклонным выработкам - грузолюдскими конвейерами типа ЗЛЛ-100, используемых доставки угля (скорость движения ленты 2 м/с), по участковым выработкам - грузолюдскими конвейерами, канатными напочвенными дорогами типа ДКНЛ-1 (скорость 2 м/с) и электровозами А8-600-У5.



Рис. 1. Электровоз шахтный А8-600-У5

Время перевозки людей от момента посадки в клеть на поверхности и до выхода у наиболее удаленного рабочего места составляет 28 мин. и не превышает нормативного - 45 мин.

Для транспортировки породы, материалов и оборудования приняты грузовые вагонетки типа ВГ - 1,6, для перевозки людей по горизонтальным выработкам - ВП-18 и они же для участковых выработок.

К верхнему «окну» лавы материалы и оборудование доставляются в вагонетках типа УВГ - 2,5 или специальных площадках выполненных на базе вагонеток УВГ - 2,5. К нижнему «окну» лавы осуществляется аналогичная доставка грузов. Доставка осуществляется электровозами типа А8-600-У5. Погрузочно-разгрузочные работы у сопряжения лавы со штреком осуществляется рабочими с помощью тельферов и вручную. [1]

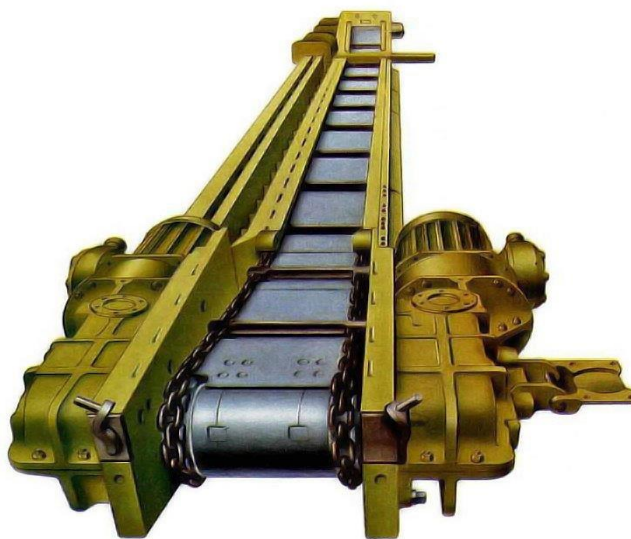


Рис. 2. Скребковый конвейер СП-250

Технологический комплекс транспортировки угля начинается с того что уголь непосредственно из забоя лавы №53 на скребковом конвейере СП-250 через нечем не оборудованный пересып попадает на ленточный конвейер 1ЛТ-80 ,который находится в откаточном ходке №53 далее попадает на пересып, который оборудован толкателем ,приемной воронкой одним приемным бункером - емкостью 120 т., с качающимся питателем типа КЛ-129 оттуда уголь грузится в вагонетки типа ВГ-1,6 транспортируется по откаточному штреку №28 электровозом А8-600-У5 на опрокид который оборудован толкателем, приемным бункером емкостью 120 т., качающимся питателем КЛ-129 далее он попадает на ленточный конвейер 2Л-100 находящийся в главном конвейерном стволе и далее попадает на поверхность.



Рис. 3. Ленточный конвейер 1Л-80

В транспортной цепочке шахты задействованы 8 человек смену 1 пересып обслуживает 1 рабочий.

Скребковым конвейером управляет 1 гроз непосредственно находясь на пересыпе 2 пересып обслуживают 3 рабочих.

Ленточным конвейером в откаточной ходке управляет 1 мпу находящийся на следующем пересыпе.

– 1 мпу управляет питателем КЛ-129;

- 1 грп чистить канавки и занимается маневровыми работами электровоза;
- 1 машинист электровоза управляет электровозом привозит порожние вагоны увозит груженые вагоны партиями по 20 вагонеток 3 раза за смену;

Еще 2 мпу обслуживают 3 пересып.

–1 управляет опрокидом;

–1 управляет питателем;

–1 мпу управляет ленточным конвейером непосредственно с поверхности.

В день задействованны 32 человека. Всего на участке работают 38 человек.

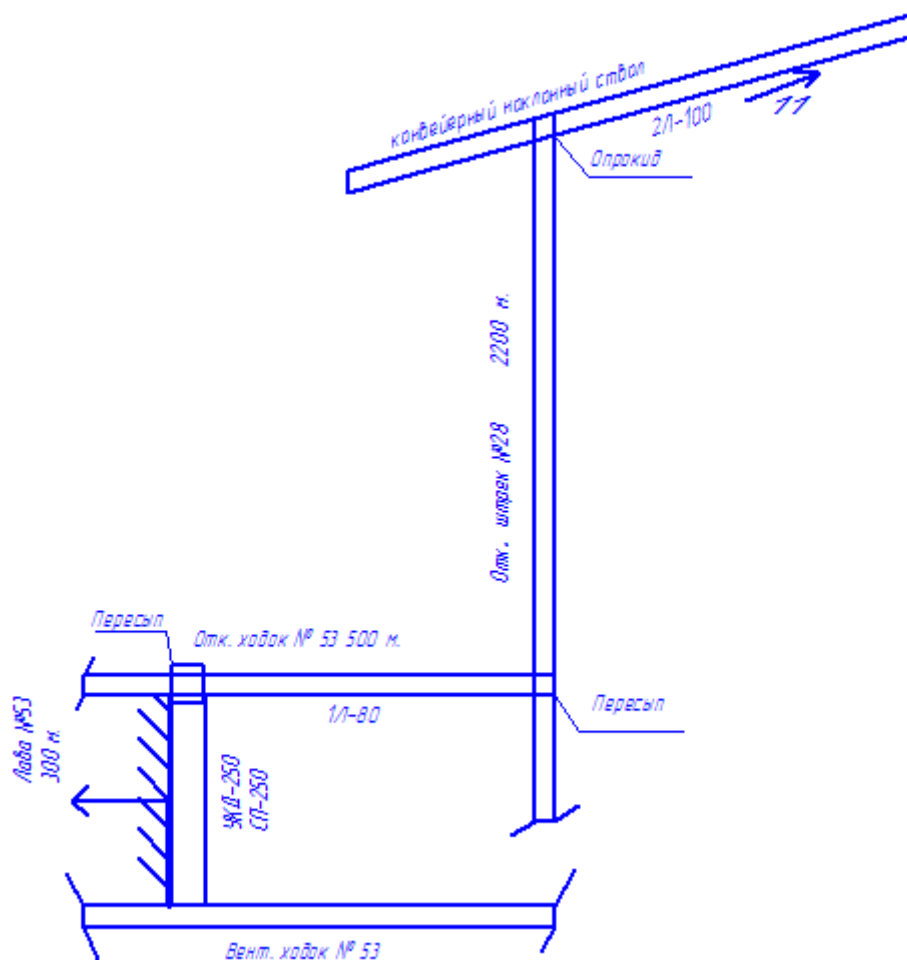


Рис. 4. Схема, по которой осуществляется транспортировка угля

В ходе исследования было выявлено, что шахта добывает 800 т/сут., а производительность комбайна УКД-250 в данных горно-геологических условиях при сопротивляемости угля резанию 3,3 Кн./м. Может составлять 3564 т/сут.

Низкая производительность транспортной цепочки шахты обусловлена в первую очередь присутствием в схему транспортирования локомотивной откатки в откаточном штреке (длинной 2200м., и сечением 15,2 м²). Имеет одну железнодорожную колею 600мм. Предусмотренно несколько стрелочных переводов и тупиковых ответвлений для маневровых работ электровоза. Откатка производится в вагонетках ВГ-1,6 (3,2т), и аккумуляторным электровозом А8-600-У5. В течении смены электровоз осуществляет 3 подачи партии порожних вагонеток и откатку груженых вагонеток к опрокидывателю

на расстояние 2200м..При этом 50% рабочего времени занимают маневровые работы, данная система откатки не позволяет дать нагрузку на очистной забой более 800 т/сут.

С целью рационального использования очистного оборудования и их рабочего времени предлагается заменить локомотивную откатку конвейерным транспортом, а именно 2 конвейерами 2Л-100У производительность которых составляет 850 т/ч. Что позволит использовать комбайн на полную мощность и увеличить добычу с 800 т/сут до 3564 т/сут. Помимо этого будет иметь несколько положительных эффектов.

- сократить количество рабочих после чего, не надо будет грузить вагонетки и обслуживать пересып и опрокид. Для такой системы достаточно будет иметь на участке 1 гроза и 4 мпу.

- позволит лучше обеспечивать забой необходимыми материалами и в целом повысит надежность и безопасность транспортной системы

- так как пропускная способность увеличилась появилась перспектива развития горных работ в данном крыле шахты. Подготовка нового очистного забоя.

Выводы

В результате наблюдений за работой участка внутришахтного транспорта филиала шахты «Иловайская» ГУП ДНР Макеевуголь был выявлен недостаток, такой как слабый грузопоток 28 откаточного штрека участка внутришахтного транспорта филиала шахты «Иловайская» ГУП ДНР Макеевуголь. В следствии чего не эффективно используется работа очистного комбайна лавы №53 добычного участка данной шахты. Это обусловлено присутствием в транспортные цепочки шахты, а именно в 28 откаточном штреке локомотивной откатки, которая не позволяет транспортировать в сутки более 800 т угля, а производительность очистного комбайна в данных горно-геологических условиях может достигать свыше 3000 тонн. В итоге были разработаны мероприятия по совершенствованию процесса транспортирования угля, которые позволяют устранить этот недостаток. А именно замена локомотивной откатки на конвейерный транспорт.

Список литературы: 1. Транспортные системы горных предприятий [электронный ресурс]. Сайт: <https://tst.nmu.org.ua/ua/Lekcia/Lec1.pdf>

УДК 621.923.91

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

Турманидзе Р. С.¹, Попхадзе Г. З.¹, Инашаридзе К. С.². (¹Грузинский Технический
Университет, Тбилиси, Грузия²; Государственный университет имени Шота
Руставели, Батуми, Грузия)

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

Аннотация. В связи с тем, что головки эндопротезов тазобедренного сустава человека эксплуатируются в экстремальных, с точки зрения нагрузки, условиях, выбор соответствующего материала, а также повышение точности и качества обработки сферических поверхностей является весьма актуальной задачей. В представленной работе рассмотрены вопросы, связанные с определением степени влияния ориентации кристалла сапфира на его обрабатываемость при алмазном шлифовании встык и разработкой перспективной, оригинальной схемы формирования неполной сферической поверхности, в частности, сапфировой головки эндопротеза тазобедренного сустава человека.

Ключевые слова: монокристаллический сапфир, анизотропия, шлифуемость, эндопротез, прецизионная шлифовка, формование, сферическая поверхность.

1. Введение

В последнее тридцатилетие одной из актуальных направлений в области обработки материалов резанием является получение имплантов из разных материалов для тазобедренных суставов с высокими эксплуатационными свойствами, которые обеспечат их применение более 30-40 лет. Это обусловлено тем, что головки указанных эндопротезов, 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 эндопротеза – 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 эндопротезов – 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 эндопротеза тазобедренного сустава до конца жизни для больного, особенно после операций в молодом возрасте, имеет исключительно важное значение.

Этим обстоятельством объясняется тот факт, что в таких ведущих странах мира, как США, Германия, Англия, Япония, Франция и др., ведутся широкомасштабные научно-исследовательские работы по разработке оптимальных схем формообразования, характеристик абразивного инструмента для финишных операций и технологического процесса в целом, для изготовления сферических головок эндопротеза 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 эндопротеза, что имеет принципиальное значение для повышения срока службы их эксплуатации за счет увеличения площади контактов между пар эндопротезов 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 эндопротезов 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 направлением имеющий минимальную анизотропию.

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

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.

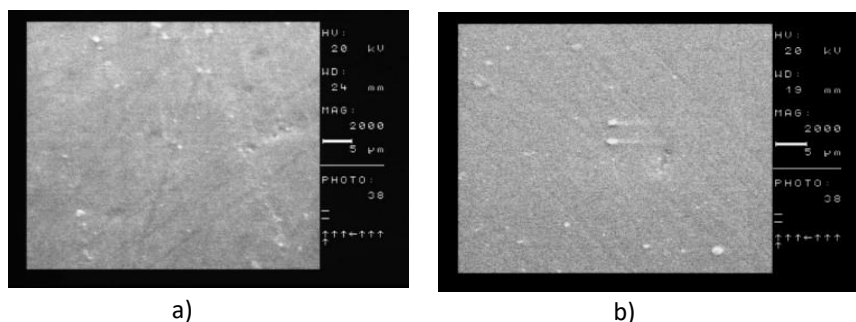


Рис. 1. Микрофотографии поверхностей экспериментальных образцов сапфира, обработанные способом НППШ:
а – Ориентация 1010, б – 1012. Алмазный круг – АСМ 14/10, связка органическая спец., 50 %. Режимы резания: $V=1$ м/с, $P=750$ кПа.

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 (рис. 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: НППШ 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 НППШ, были рассмотрены и проанализированы известные схемы формообразования неполной сферической поверхности.

Наиболее близким по кинематике к способу НППШ является способ шлифования неполной сферы торцом шлифовального круга с двойным вращением детали с

угловыми скоростями ω_2 и ω_3 (рис. 2), который взят за основу разработки оригинального варианта теоретической схемы алмазной обработки сапфировых сфер с учетом кинематических и других положительных особенностей способа НППШ.

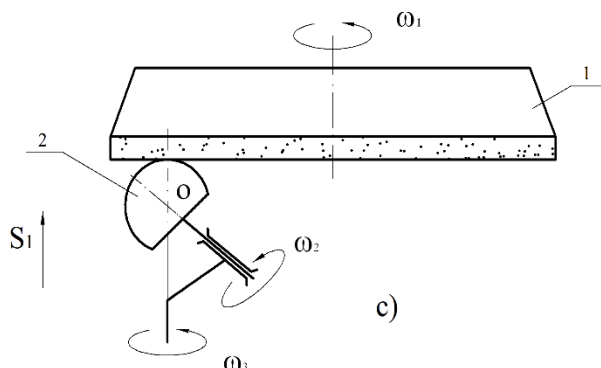


Рис. 2. Схема формообразования неполной сферической поверхности торцевым алмазным кругом с двойным вращением детали:
1 – алмазный шлифовальный круг;
2 – обрабатываемая деталь – неполная сфера.

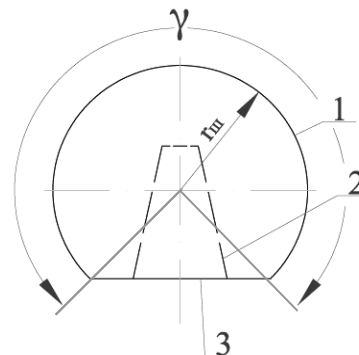


Рис.3. Сапфировая сферическая головка:
 $r_{ш}$ – радиус сферы;
 γ – угол сегмента сферической поверхности.

Нами были разработаны несколько вариантов [5, 6] теоретических схем формообразования неполной сферической поверхности. Один вариант оригинальной кинематической схемы формообразования неполной сферической поверхности сапфировой головки (рис. 3) торцевым шлифовальным кругом представлен на (рис. 4). Режущим инструментом служит специальный, комбинированный торцевой шлифовальный круг с двумя концентричными алмазоносными 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 алмазоносными 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 .

Отличительные признаки теоретической схемы от НППШ 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.

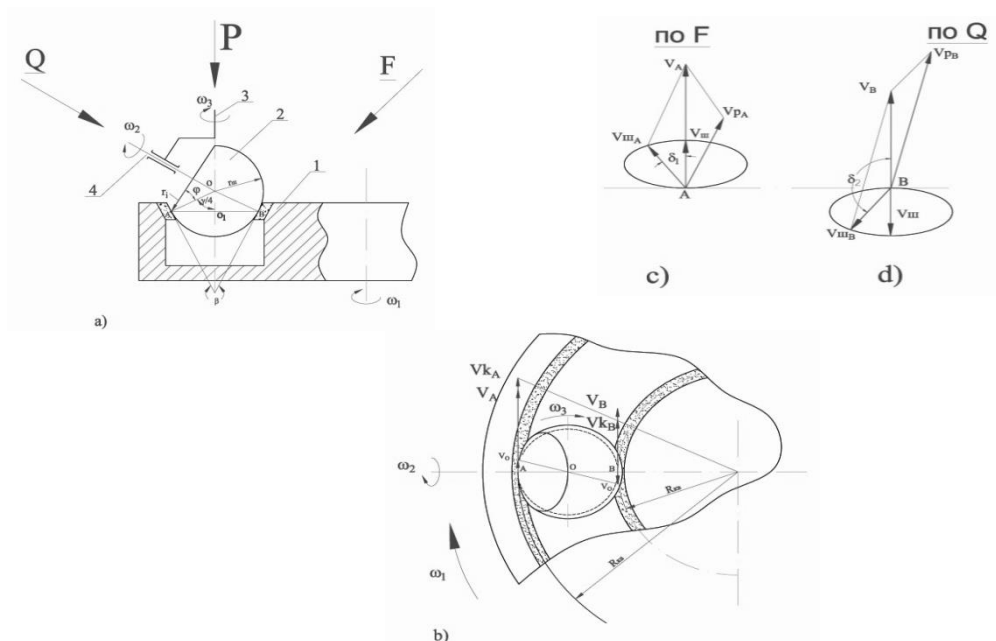


Рис. 4. Кинематическая схема формообразования неполной сферической поверхности торцовым шлифованием на основе способа НППШ:

- 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.

$$v_{PA} = v_B - v_{шВ} \quad (1)$$

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

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

и
$$v_{шА} = r_{iА} \cdot \omega_2 \quad . \quad (4)$$

Аналогично точке А, в точке В результирующая скорость резания равна:

$$v_{PB} = v_B - v_{шВ} \quad , \quad (5)$$

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

где

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

и

$$v_{\text{ш}B} = r_{iB} \cdot \omega_2. \quad (8)$$

Линейная скорость детали от вращательного движения с угловой скоростью ω_2

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

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, $\delta_1 = \frac{\pi}{2}$.

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

v_{PB} достигает максимума при $\alpha = \pi \frac{1}{2}$, и, следовательно, $\delta_2 = \pi$.

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

При условии $v_{PA_{\max}} = v_{PB_{\max}}$, 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 A и B 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 НППШ, учитывая сохранение физики процесса резания при НППШ, 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 – плоскопараллельность 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 – НППШНС, который находится в процессе патентования.

Предполагается, что способ НППШНС, 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 НППШНС может быть вполне конкурентоспособным на предварительных операциях, вплоть до финишной обработки, в технологическом процессе механической обработки сапфировой головки.

По долгосрочной программе предусмотрена организация европроекта 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 $q_{0001}/q_{1010}=0.25...0.5$, и $q_{1012}/q_{1010}=0.75...1$. При других равных условиях процесса НППШ 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 плпстическим деформированием снимаемого слоя 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 эндопротеза 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 alumini 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 Scintific Conference. 20-21 March, 2008. Section N: Production Engineering and Manufacturing Systems. University of Mishkolc, 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.

УДК 621.93.9

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРИКОВ ИЗ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ НА
МНОГОИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ЦЕНТРОБЕЖНОМ СТАНКЕ****Убайдуллоев А. Н., Мирзоалиев И., Мирзоалиев А. И., Холов Ф. Б., Амонов С. Т.***(Таджикский технический университет г. Душанбе, ТТУ имени М.С. Осими,
Таджикистан)*Тел./Факс: +992-919971476; E-mail: tmmsii74@mail.ru

Аннотация. В представленной статье приведены результаты исследования процесса центробежной абразивной обработки шариков из самоцветных камней на многоинструментальном центробежном станке. Выявлено, что производительность и качество обработки изделия из самоцветных камней можно существенно повысить применением данного способа обработки. Обработка при этом производится при воздействии центробежных сил и силы трения с инструментом. Также приведены результаты исследования производительности и точности формы от факторов процесса обработки.

Ключевые слова: центробежная абразивная обработка, самоцветные камни, производительность обработки, точность формы, режимы обработки.

1. Введение

Стоимость изделия из самоцветных камней в десятки и сотни, раз превышает стоимость сырья, из которых изготовлены эти изделия. Поэтому изготовление и реализация изделий взамен необработанных камней является весьма перспективным делом. Шарiki из самоцветных камней составляют основу большинства изделий ювелирной промышленности. Самоцветные камни имеют высокую твердость и в большинстве случаев хрупкие. Поэтому методы объёмного пластического деформирования, используемые при изготовлении металлических шариков, применять не представляется возможным. Заготовки изготавливаются в виде кубиков, и механической обработкой (резанием, шлифованием, полировкой) из них изготавливаются шарiki. Трудоемкость изготовления изделия в виде шариков высокая. Доля ручного труда, также несравнимо больше, чем при изготовлении металлических шариков. Поэтому изыскание путей повышения производительности обработки шариков из самоцветных камней является актуальной задачей.

Целью данного исследования является повышение производительности процесса изготовления шариков из самоцветных камней путём совершенствования оборудования и технологии производства.

2. Обзорная часть

Процесс формообразование шаровидных изделий из самоцветных камней выполняются в два этапа. Первое, это округление вершин кубиков и второе формообразования до шаровидной формы. Обычно процесс округления вершин кубиков осуществляется галтовкой и чаще всего с использованием галтовочного барабана с горизонтальной или наклонной осью вращения, что малопродуктивно и не обеспечивает нужную форму деталей. Разработанное устройство позволяет из заготовок кубической формы изготовить шаровидные изделия, минуя операции округления граней заготовок. [1, 2].

Схема устройства представлено на рисунке 1. Устройство состоит из корпуса 1, электродвигателя 2, ременной передачи 3, шпинделя 4, алмазные или абразивные

инструменты 5, барабан 6, резиновое покрытие 7, крышка 8, электронное устройство регулирования частоты вращения электродвигателя 9.

Электродвигатель 2 установлен в корпусе 1. На валу электродвигателя и шпинделе станка установлены шкивы связанные ремнем. Абразивные диски 5 установлены на шпинделе 4. Крышка 8 устанавливается сверху барабана 6 и предохраняет заготовки верхнего диска от выпадения.

При обработке в начале заготовки размещают над инструментами (алмазными планшайбами или абразивными дисками). Инструменты приводятся во вращательное движение шпинделем 4, который получает вращение от электродвигателя 2 посредством ременной передачи. Необходимая частота вращения устанавливается электронным регулятором 9.

При вращении инструмента заготовки, вращаясь вместе с ним, под действием центробежных сил перемещаются от центра к периферии. Соприкасаясь с резиновым покрытием барабана, замедляют скорость перемещения относительно барабана, но при этом возрастает, скорость относительного скольжения заготовок с инструментом за счет чего возрастает интенсивность обработки[3, 4].

Данное устройство позволяет существенно повысить производительность и точность обработки деталей, типа шариков из самоцветных камней, повышает функциональную возможность выражающее в возможности одновременного выполнения, формообразование, черновой и чистовой обработки.

При обработке на данном устройстве можно одновременно обработать камни с различными размерами и физико-химическими характеристиками.

Применение данного устройства наиболее эффективен при большой номенклатуры изготавливаемых изделий, какими являются изделия ювелирного производство.

Производительность обработки определяли весовым методом. Взвешиванием партии деталей до и после обработки. Так как при обработке каждый раз количество загружаемой массы различно для объективного сопоставления результатов измерения различных партиях заготовок производительность оценивалась по потере исходной массы в процентах относительно первоначальной массы.

Изменение формы также оценивалось относительно исходной формы в процентах.

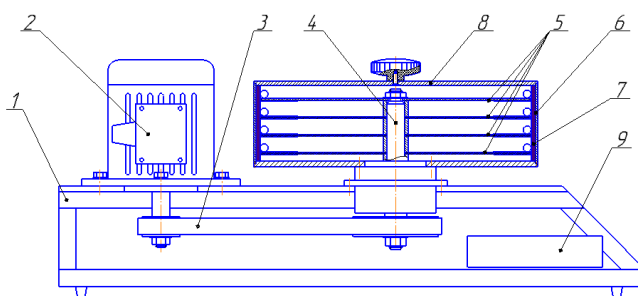


Рис. 1. Схема устройство для многоинструментальной центробежной обработки

3. Исследование величины съема от продолжительности обработки

Продолжительность обработки является один из факторов влияющий на величину съема и качество обработки. Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния продолжительности обработки на величину съема результаты, которых приведены ниже.

При обработке варьировали следующими факторами: линейная скорость инструмента, величина зерно абразива, продолжительность обработки. Величины этих факторов следующие: продолжительность обработки 10-60 минут; зернистость абразива 600мкм; скорости резания-7,85м/сек, 13,8м/сек, 15,7м/сек. Производилась обработка в сухой и в жидкой среде. По результатам экспериментов построены графики и выявлено, что в исследуемых интервалах величины съема от продолжительности обработки возрастает линейно. Применяя метод наименьших квадратов, результаты экспериментального исследования запишем в аналитическом виде. Уравнения зависимости производительности от продолжительности обработки при различных скоростях инструмента приведены ниже (формулы 3-8).

Формулы 1-3 при сухой обработке лазурита и 4-6 при обработке лазурита в жидкой среде.

$$Q_{1c} = f(t) = -0,2 + 0,2636t \text{ - при } V = 7,85 \text{ м/сек;} \quad (1)$$

$$Q_{2c} = -0,1 + 0,4t \text{ - при } V = 13,08 \text{ м/сек;} \quad (2)$$

$$Q_{3c} = -0,8 + 0,553t \text{ - при } V = 15,7 \text{ м/сек;} \quad (3)$$

$$Q_{1ж} = f(t) = 0,367t \text{ - при } V = 7,85 \text{ м/сек;} \quad (4)$$

$$Q_{2ж} = 7 + 0,4t \text{ - при } V = 13,08 \text{ м/сек;} \quad (5)$$

$$Q_{3ж} = 5,6 + 0,53t \text{ , - при } V = 15,7 \text{ м/сек;} \quad (6)$$

4. Влияние линейной скорости инструмента на производительность обработки

Линейная скорость инструмента V - это длина пути, которую проходит точка находящейся на наибольшем диаметре инструмента за 1 секунда.

Проведены экспериментальные исследования влияние скорости резания на производительность обработки. Скорость резания варьировался в диапазоне от 2 до 28 м/сек. Максимальная скорость инструмента ограничивался показателями поломки исходных заготовок. Скорость ограничивался возрастание поломки до 5%. Производилась обработка в водной среде и в сухую. Как видно из графика (рис. 2) производительность обработки возрастает с увеличением линейной скорости инструмента. Данная зависимость нелинейна [2].

5. Исследование точности формы от факторов режима обработки

Исправление формы оценивалось в процентах по сравнению с исходной погрешности. Исправление формы и производительность обработки шаров диаметров 10-12 мм при центробежной галтовке приведены на данном графике (рис. 7). Как видно из графика после 25 минут обработки происходит стабилизация процесса, и дальнейшее увеличение продолжительности обработки мало влияет на исправлению формы. В начале обработки интенсивность исправления формы высокая. Достигая определенного значения, в дальнейшем исправление практически прекращается, и заготовки равномерно обрабатываются по всей поверхности. Например, для заготовки из лазурита средний исходный размер составлял 11,33 мм наименьший 10,73 и наибольший 19,37 мм. Разность наибольшего и наименьшего размеров 8,54 мм. После 25мин обработки средний размер партии составлял 10,2 мм наименьший и 9,85 мм

наибольший 10,7. Разность между наименьшего и наибольшего 0,85мм. Исправление формы при этом равно 90%. Дальнейшая обработка не приводит к исправлению формы[2].

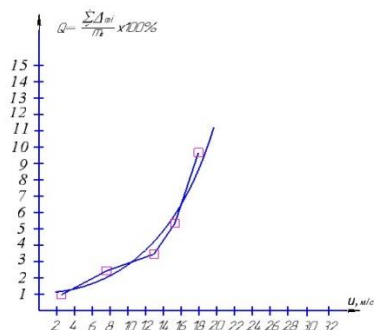


Рис. 2. График зависимости производительности от линейной скорости инструмента при обработке лазурита
1. Экспериментальные данные.
2. Аппроксимация результатов эксперимента

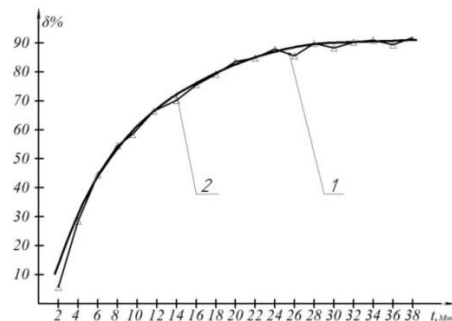


Рис. 3. График зависимости исправления формы от времени при обработке лазурита
Примечание: 1. Расположение экспериментальных точек 2. Аппроксимация результатов эксперимента .

6. Заключение

Предложенное устройство позволяет существенно повысить производительность и точность обработки деталей, типа шариков из самоцветных камней. При этом существенно повышается функциональная возможность оборудования выражающее в возможности одновременно обрабатывать самоцветные камни с различными размерами и твердостью, используя различные инструментальные ячейки.

Сравнение различных способов обработки самоцветных камней по производительности. Производительность процесса оценивалась как величина минутного съема с 1 кг массы обрабатываемой заготовки - г/кг мин. Эксперименты показали, что производительность данного станка $8 \frac{\text{г}}{\text{кг} \cdot \text{мин.}}$, когда производительность барабанной галтовки составляло $1,035 \frac{\text{г}}{\text{кг} \cdot \text{мин.}}$, а планетарно центробежной обработки $5,18 \frac{\text{г}}{\text{кг} \cdot \text{мин.}}$.

Список литературы: 1. Влияние режимов резания на производительность процесса центробежной абразивной обработки шариков на станке с направляющими пластинами Холов Ф.Б., Имомов Н.Б. Мирзоалиев И.М., Гулов С.С. /Наука и инновация. Таджикский национальный Университет. Серия геологических и технических наук 2024. №1. 19.03.2024. С-66-74 2. Экспериментальное исследование процесса многодисковой абразивной обработки шариков из самоцветных камней. / Холов Ф.Б., Эмомов Н.Б. Мирзоалиев И. / Пайеми Политехники. №1. 1. 2023. С 4-11. 3. Исследование влияния составляющей загрузочной массы на производительность обработки при галтовке. / Мирзоалиев И.М., Мирзоалиев А.И., Имомов Н.Б.// Материалы 12-й международной научно-технической конференции. 13-15 ноября 2019 года. Минск. - С.257-260. 4. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1199, МПК (2014), В24В31/00. Устройство для центробежной абразивной обработки шариков. / Имомов Н.Б., Мирзоалиев А.И., Мамадназарова М.С., Амонов С.Т., Назарзода Н.М. / №2101573; заявл. 08.07.2021. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 3 ноября 2021 года.

УДК 621.791.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ СТАЛИ P91 В СРЕДЕ LS-DYNA

Филиппов М. Н., Миньков А. Л. (кафедра ПМ,СиТМ, БНТУ, Минск, Беларусь)

Аннотация. Статья посвящена моделированию многопроходной сварки пластины из жаропрочной хромомолибденовой стали P91 (аналог 10X9МФБ) 200×100×10 мм в среде ANSYS/LS-DYNA. Для имитации сварочного источника нагрева был использован трехмерный источник тепла – двойной эллипсоид Голдака. Были рассчитаны тепловые поля на каждом временном шаге как граничные условия деформационной задачи. Определены термические напряжения во времени в разных сечениях и на торцах пластины. Рассчитаны деформации и остаточные коробления.

Ключевые слова: сварка; тепловые поля; термические и остаточные напряжения; моделирование; LS-DYNA; остаточные деформации.

Прогнозирование сварочных деформаций и напряжений являются значимым фактором, который обеспечивает надёжность и качество сварных конструкций. При прогнозировании напряженно-деформированного состояния сварных пластин наибольшее распространение получили приближенные инженерные методы расчета, основанные на знании значений функции усадки сварного шва и применении методов теории упругости. При этом для решения задач применяют либо аналитические подходы [1–3], либо метод конечных элементов (МКЭ) [4]. Для исследовательских целей используют более общие подходы термопластического анализа в сочетании с МКЭ в двухмерной постановке, т. е. при допущении плоского напряженного состояния или плоской деформации [5]. В отличие от двумерных, трехмерная модель позволяет определить влияние последовательности процесса сварки на остаточные напряжения и деформации.

В данной работе рассматриваются результаты моделирования многопроходной сварки пластины с целью определения напряженно-деформированного состояния.

Цель работы: моделирование напряженно-деформированного состояния пластины в общей трехмерной постановке с применением МКЭ и методов теории термопластичности, а также расчёт кроме основных видов деформаций, таких, как поперечная и продольная усадка, угловых деформаций и короблений.

Расчёты проводились для автоматической аргонодуговой сварки с неплавящимся электродом и погруженной дугой, при $\eta_{\text{и}} = 0,6$; $I = 200\text{А}$; $U = 25\text{В}$, $v_{\text{св}} = 1\text{ мм/с}$ и погонной энергии сварки $q = 3\text{ кДж/мм}$. Справочные данные по теплофизическим и механическим свойствам стали P91, которые использовали при расчете, взяты из [6]. Моделирование сварки пластины проводили в три прохода с V-образной разделкой кромок, при следующих максимальных температурах источника тепла корневого шва 2000°C, а источника тепла облицовочного шва правого и левого - 2500°C. Количество элементов сетки – 438375.

Для имитации сварочного источника нагрева был использован трехмерный источник тепла – двойной эллипсоид Голдака (рис. 1). Эллипсоид Голдака была преобразован для движения по многопроходным траекториям.

Модель двойного полуэллипсоида состоит из двух полуэллипсоидов, один для передней поверхности сварного бассейна, а другой - для задней поверхности.

Плотность мощности в точке (x, y, z) задается следующим уравнением:

$$q = \frac{6\sqrt{3}FQ}{\pi\sqrt{\pi abc}} \exp\left(\frac{-3x^2}{a^2}\right) \exp\left(\frac{-3y^2}{b^2}\right) \exp\left(\frac{-3z^2}{c^2}\right), \quad (1)$$

где a,b,c – это полуоси эллипсоида, а Q – тепловой поток.

Данная формула была преобразована в функцию движения источника нагрева в среде ANSYS/LS-DYNA.

Основные результаты:

1. Построена геометрическая модель пластины с конечно-элементной сеткой переменного размера: мелкая в зоне шва и крупная на остальных участках.
2. Определены максимальные остаточные растягивающие напряжения по фон Мизесу.
3. Рассчитаны тепловые поля на каждом временном шаге как граничные условия деформационной задачи.

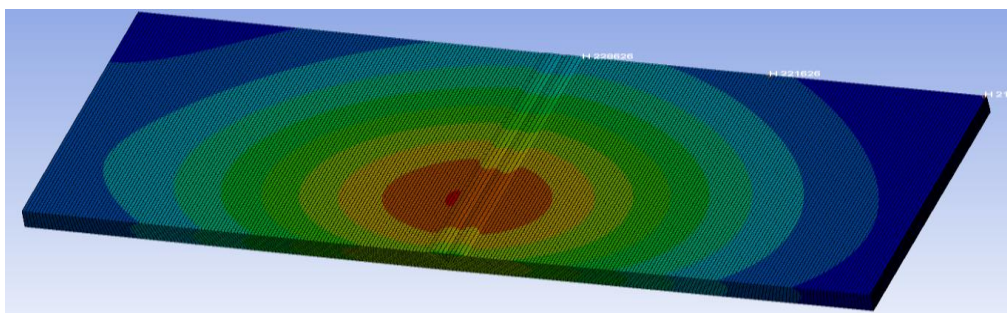


Рис. 1. Распределение температуры при сварке и контрольные точки для расчёта напряжений на правом заднем участке пластины

4. Рассчитаны термические напряжения во времени и по трём координатам X,Y,Z и суммарные, а также остаточные напряжения на правом заднем участке пластины по отношению к началу сварки. Растягивающие напряжения существуют только в районе шва и колеблются от 50 МПа до 350 МПа и сохраняются после сварки около 100 МПа. Колебания напряжений соответствует количеству проходов. Особенно наблюдается скачок напряжений в районе конца шва при окончании третьего прохода. Снижение напряжений во времени после 225 секунды сварки связано, по видимому, с пластической деформацией (рис. 1, рис. 2).

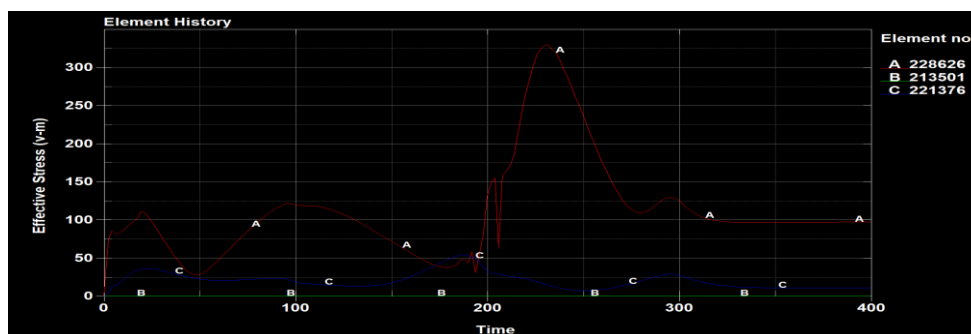


Рис. 2. Распределение суммарных термических и остаточных напряжений на правом заднем участке пластины

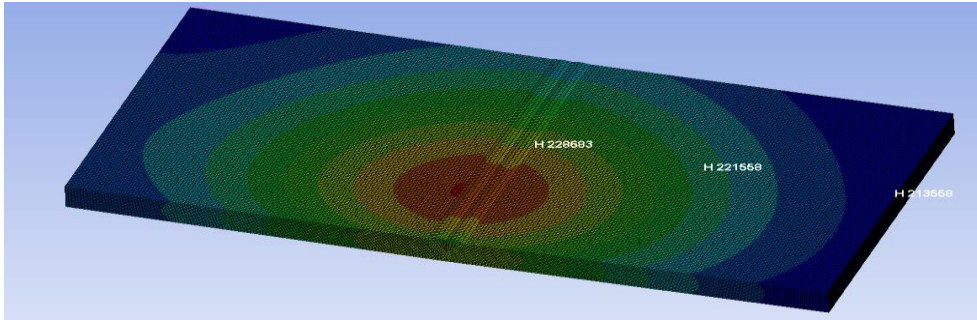


Рис. 3. Распределение температуры при сварке и контрольные точки для расчёта напряжений в середине правого участка пластины

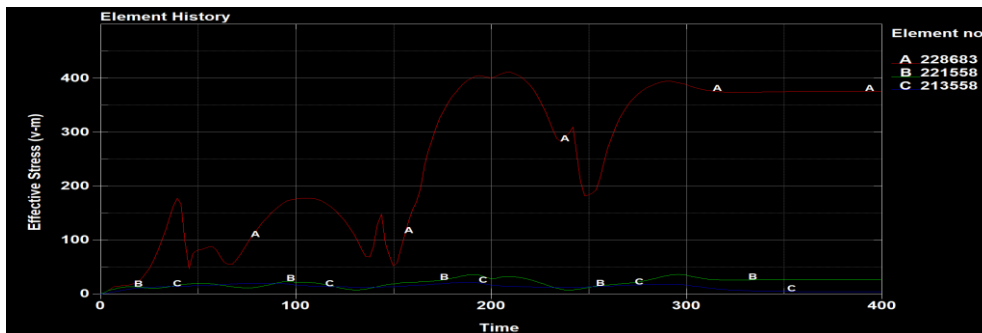


Рис. 4. Распределение суммарных термических и остаточных напряжений на правом среднем участке пластины

5. Рассчитаны термические напряжения во времени и по трём координатам X,Y,Z и суммарные, а также остаточные напряжения на правом среднем участке пластины по отношению к началу сварки. Растягивающие напряжения существуют только в районе шва и колеблются от 50 МПа до 410 МПа и сохраняются после сварки около 375 МПа. Колебания напряжений соответствует количеству проходов (рис. 3, рис. 4).

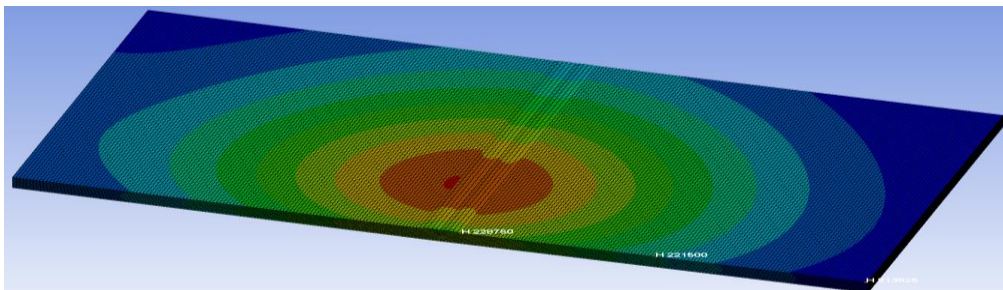


Рис. 5. Распределение температуры при сварке и контрольные точки для расчёта напряжений в середине правого переднего участка пластины

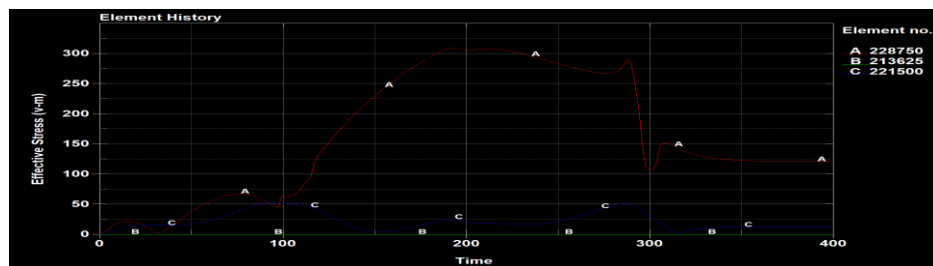


Рис. 6. Распределение суммарных термических и остаточных напряжений на правом переднем участке пластины

6. Рассчитаны термические напряжения во времени и по трём координатам X,Y,Z и суммарные, а также остаточные напряжения на правом переднем участке пластины по отношению к началу сварки. Значимые растягивающие напряжения существуют только в районе шва и колеблются от 50 МПа до 310 МПа и сохраняются после сварки около 125 МПа. Колебания напряжений соответствует количеству проходов. (рис. 5, рис. 6)

7. Рассчитана остаточная деформация (коробление) после сварки по толщине пластины ось Y = 1.6 мм (рис.7).

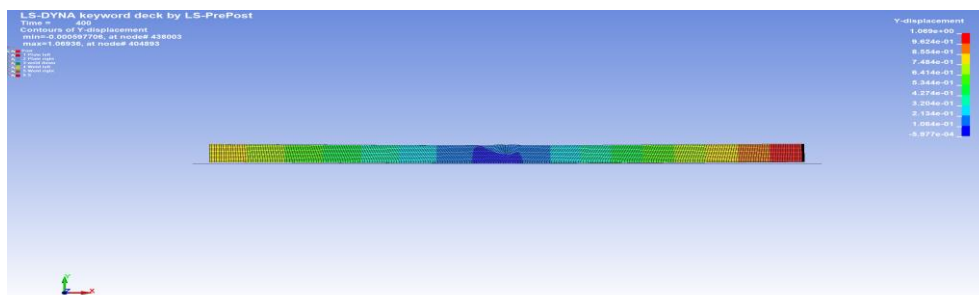


Рис. 7. Остаточная деформация пластины

Список литературы: 1. Кузьминов С. А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций. — Л.: Судостроение, 1974. — 285 с. 2. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. — М.: Машиностроение, 1968. — 235 с. 3. Талыпов Г. Б. Сварочные деформации и напряжения. — Л.: Машиностроение, 1974. — 280 с. 4. Prediction of deformation for large welded structures based on inherent stain / Yu Luo, D. Deng, L. Xie, H. Murakawa // Trans. JWRI. — 2004. — 33, № 1. — P. 65–70. 5. Махненко В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с. 6. [T91 / P91 Steel \(metalspiping.com\)](http://T91/P91Steel(metalspiping.com)).

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.;
Горобец И.А., Мелешко Э.Г., Черноус В.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ	3
Горобец И. А., Мелешко Э. Г., Колесников В. М. ВЫБОР ТИПА СЕНСОРНОГО УСТРОЙСТВА И МЕСТА ЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ	9
Глушко В. Ю., Михайлов А. Н. ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЙ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ	12
Михайлов Н. В., Федотов М. С. Лахин А. М., Михайлов А. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ГЛАВНОГО РЕДУКТОРА ПРИВОДА ВИНТА ВЕРТОЛЕТА	16
Мищенко А. А., Анастасьев А. В., Михайлов А. Н. МНОГОСЛОЙНЫЙ ПОЛИРОВАЛЬНЫЙ КРУГ ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПРОФИЛЕМ	20
Лахин А. М., Мороз О. В. РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ	23
Приходченко Е. И. Бабанин А. Я. Кикош Т. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ	27
Савенко Э.С., Гончаров А.М. СПОСОБ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРШНЕВЫХ ПАЛЫЦЕВ ДВС	31
Огренич Д. В., Жарких Д. С., Киселица Д. О., Михайлов А. Н. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГТД	38
Торченко Н. С СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ УГЛЯ НА УЧАСТКЕ ВНУТРИШАХТНОГО ТРАНСПОРТА ФИЛИАЛА ШАХТЫ «ИЛОВАЙСКАЯ» ГУП ДНР МАКЕЕВУГОЛЬ ПОСРЕДСТВОМ ЗАМЕНЫ ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТА КОНВЕЙЕРНЫМ	42

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	47
Убайдуллоев А.Н., Мирзоалиев И., Мирзоалиев А.И., Холов Ф.Б., Амонов С.Т. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРИКОВ ИЗ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ НА МНОГОИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ЦЕНТРОБЕЖНОМ СТАНКЕ	56
Филиппов М. Н., Миньков А. Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ СВАРКЕ СТАЛИ P91 В СРЕДЕ LS-DYNA	60

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Студенческий
научно-технический журнал**

«ИНЖЕНЕР»

№ 2 (38)' 2024

ISSN 2073-5804

Главный редактор
д-р техн. наук, проф. А.Н. Михайлов
E-mail: tm@fimm.donntu.ru
Технический редактор *Д. С. Жарких*

*Учредитель и издатель – ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ*

Адрес издателя: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ФГБОУ ВО «ДонНТУ»,
тел. +7 (856) 337-17-33, 335-75-62

Адрес редакции: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, тел.+ 7 949 306-08-79,
+7 (856) 301-08-05. E-mail: tm@fimm.donntu.ru . Сайт: <http://engineer.donntu.ru>