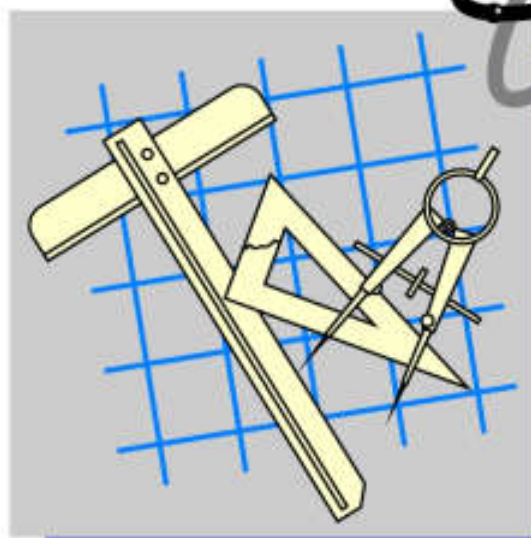
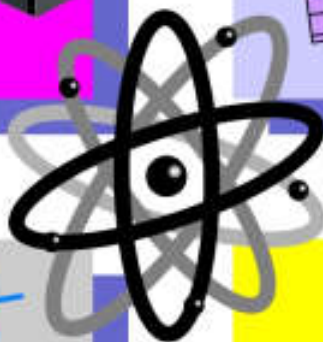
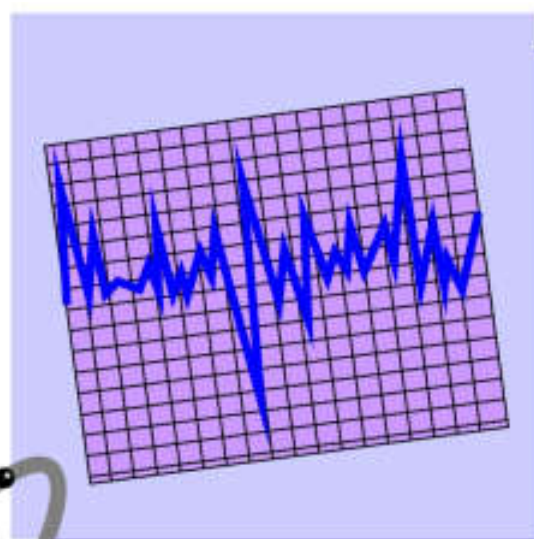


*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№1 (27) 2019



ДОНЕЦК-2019



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

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 1(27) '2019

Донецк – 2019

УДК 62

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

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

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

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Байков А. В.
Петряева И. А.

Редакционная коллегия:

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

Адрес редакции:

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

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

ISSN 2073-5804

© ГОУВПО «Донецкий национальный
технический университет», 2019

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

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

При анализе результатов обработки выборок деталей в серийном производстве возникает необходимость в проверке однородности выпускаемой продукции. Для решения этой задачи можно воспользоваться статистическими методами проверки гипотезы о принадлежности исследуемых выборок к одной генеральной совокупности [1,2].

Одним из широко применяемых методов оценки статистических связей является корреляционный анализ, который позволяет определить, являются ли результаты обработки двух анализируемых выборок независимыми, или же они являются отдельными фрагментами единой общности обработанных деталей [3,4]. Используя корреляционный анализ, можно установить, влияет ли данная величина на выходную, и какова степень (теснота) связи между величинами.

Простейшей численной характеристикой, которая позволяет судить о наличии и тесноте связи между величинами, является ковариация (математическое ожидание) произведения отклонений x и y от их центров:

$$\text{cov}(x; y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) \cdot (y_i - \bar{Y})}{n} \quad (1)$$

где n – количество пар значений величин x и y .

Однако, ковариация зависит от размерности переменных. Для перехода к безразмерной характеристике отношения переменных нормируют:

$$x^* = \frac{x_i - \bar{X}}{\sigma_x}; \quad y^* = \frac{y_i - \bar{Y}}{\sigma_y}.$$

Ковариацию нормированных отклонений называют коэффициентом корреляции

$$\rho_{x,y} = \text{cov}(x^*; y^*) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) \cdot (y_i - \bar{Y})}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (2)$$

где σ_x, σ_y - стандартные отклонения случайных величин x и y соответственно.

Так как σ_x и σ_y неизвестны, то определяют не коэффициент корреляции, а его оценку:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) \cdot (y_i - \bar{Y})}{n \cdot S_x \cdot S_y} \quad (3)$$

где S_x, S_y - оценки стандартного отклонения, мм.

Оценка коэффициента корреляции может принимать значения от -1 до +1.

Для определения статистической значимости полученного результата

проверяется гипотеза о равенстве нулю оценки коэффициента корреляции. В качестве критерия при проверке гипотезы используется случайная величина

$$T = \frac{r_{x,y} \cdot \sqrt{n-1}}{\sqrt{1-r_{x,y}^2}}, \quad (4)$$

которая подчиняется распределению Стьюдента с $k = n-2$ степенями свободы.

В программе «Выборка» реализован линейный корреляционный анализ данных, блок – схема которого приведена на рис.1.

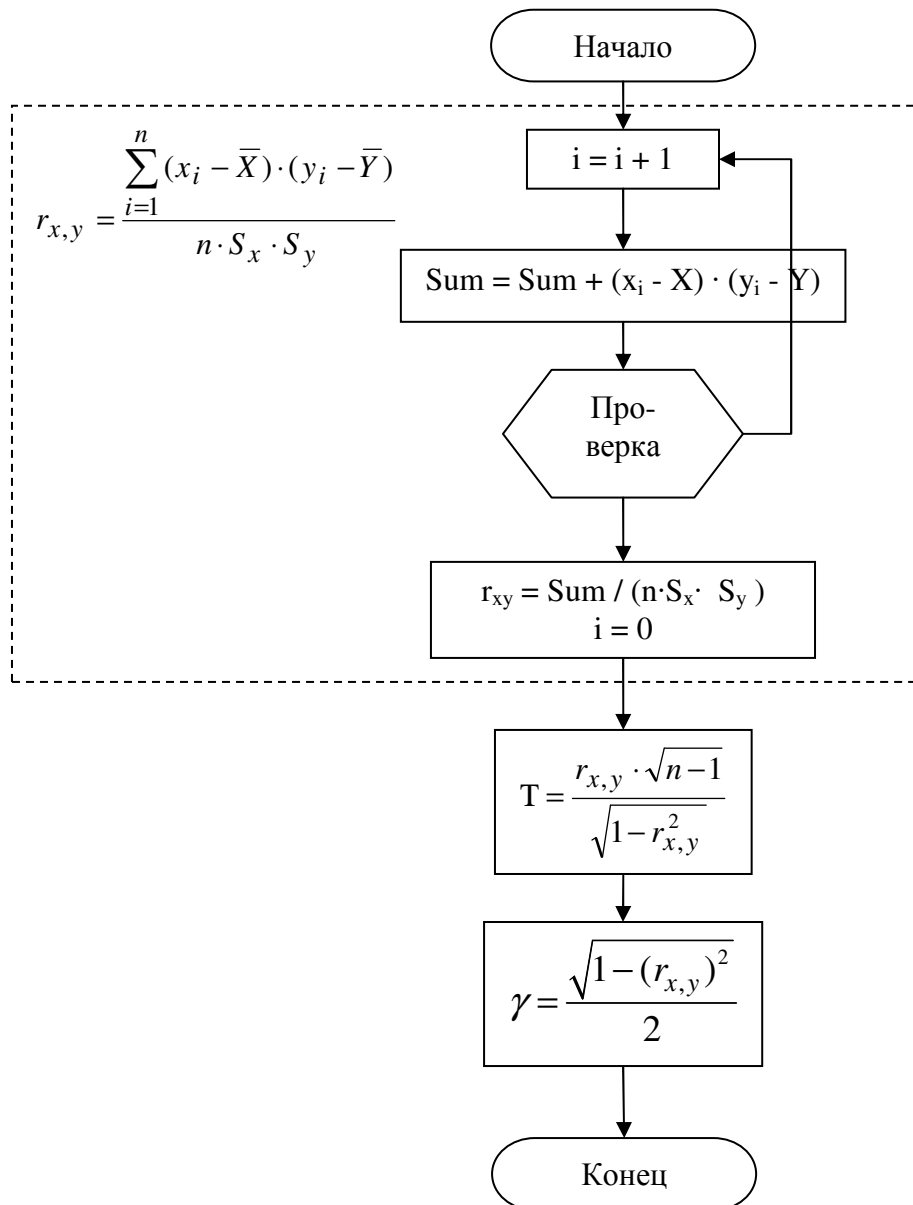


Рис. 1. Блок – схема корреляционного анализа.

Для проверки гипотезы о равенстве нулю оценки коэффициента корреляции необходимо по формуле (4) вычислить наблюдаемое значение критерия $T_{набл}$, а затем по заданному уровню значимости α , числу степеней свободы k и таблице критических

точек распределения Стьюдента найти критическую точку $t_{кр}(\alpha; k)$. Если $|T_{набл}| < t_{кр}$, оснований отвергать гипотезу нет. Если $|T_{набл}| > t_{кр}$, то гипотезу отвергают. Это означает, что оценка коэффициента корреляции статистически значима и между анализируемыми величинами наблюдается линейная зависимость.

Конечным результатом работы данного модуля программного обеспечения является определение коэффициента корреляции и проверка гипотезы о равенстве нулю оценки коэффициента корреляции. В основу математического обоснования работы модуля программного обеспечения положены вышеприведенные зависимости.

На рис. 2 представлен пример реализации разработанного модуля программного обеспечения.

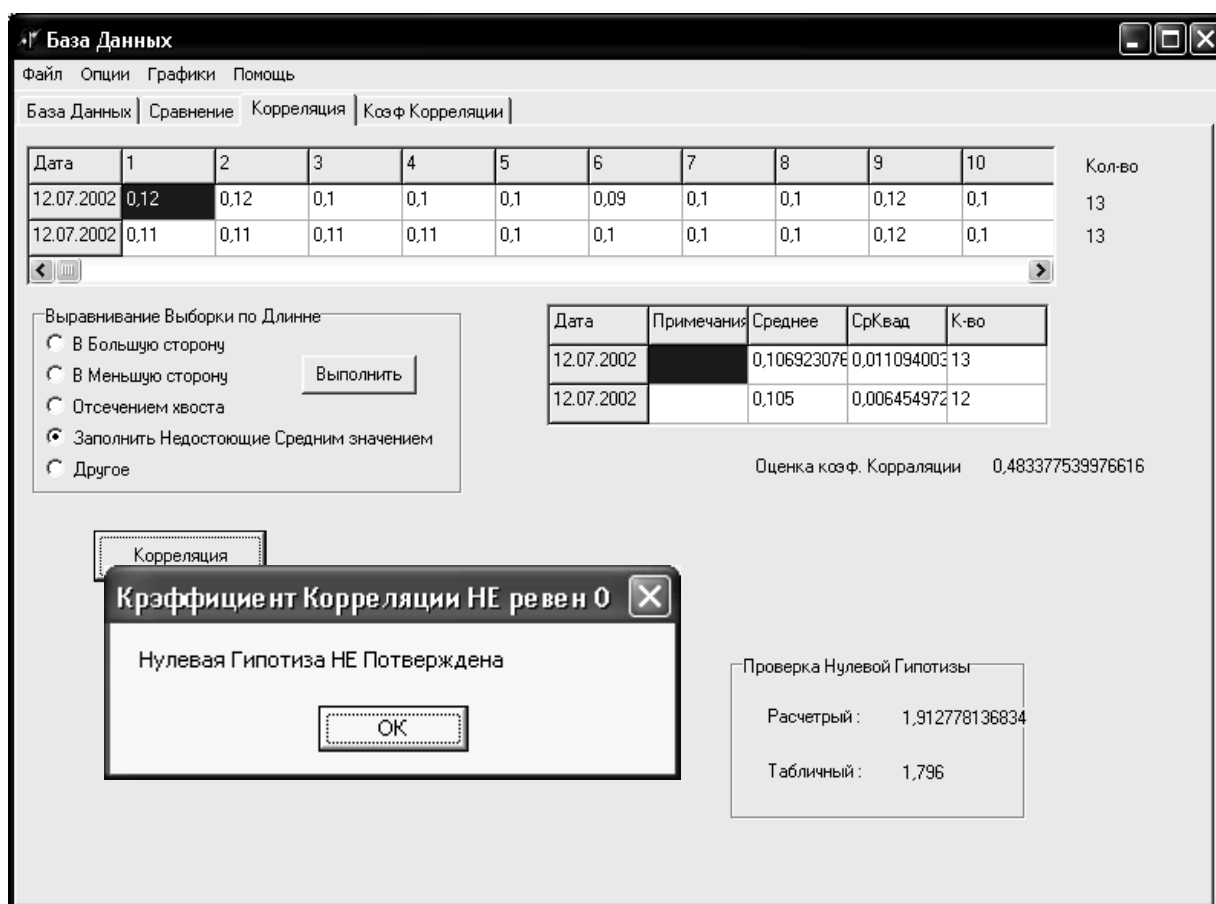


Рис. 2. Пример реализации модуля программного обеспечения.

Список литературы: 1. Готлиб Б.М. Технология автоматизированного машиностроения. Том 1. Основы традиционной технологии машиностроения Екатеринбург: УрГУПС, 2011. — 308 с. 2. Справочник инженера-технолога в машиностроении / Бабичев Анатолий Прокофьевич [и др.]; А.П. Бабичев, И.М. Чукарина, Т.Н. Рысева, П.Д. Мотренко. - Ростов н/Д : Феникс, 2006. - 541с. 3. Орлов А. И. Прикладная статистика. Учебник. — М.: Экзамен, 2006. — 671 с. 4. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход : монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Ковалева А.А., Петрешин Д.И. (ФГБОУ ВО «БГТУ», г. Брянск, Россия)
Тел. +7 (953) 2875093; E-mail: KovalevaA.A@yandex.ru

***Abstract:** The article discusses the creation of an adaptive control system for a milling machine in order to ensure the quality parameters of the surface layer of parts in which the final stage of machining is finishing or fine milling. The factors affecting the microgeometry of the surface during milling are described, the block diagram of the system is presented, and the principle of adaptive control for a milling machine is described.*

***Keywords:** adaptive system, mechanical processing; surface layer quality, automated system.*

Обеспечение качества поверхностного слоя одна из важнейших технико-экономических задач. Технология изготовления должна обеспечивать производство деталей с минимальными затратами труда и материальных средств машиностроительной продукции, надежной и долговечной в эксплуатации, по качеству не уступающей передовым стандартам мировой техники. Однако стремление обеспечить высокую производительность, часто сказывается на качестве получаемой продукции. Нарушение технологической дисциплины, устаревшие справочные данные для расчета режимов резания, влияние систематических и случайных факторов во время обработки часто приводит к получению разброса параметров качества поверхностного слоя. Оснащение фрезерного станка адаптивной системой управления позволит минимизировать влияние различных внешних воздействий, тем самым обеспечивая получение продукции с необходимыми параметрами качества. Особенно необходима такая система для изготовления деталей, у которых последней операцией механической обработки является чистовое или тонкое фрезерование.

Адаптивная система управления — это система, в которой для достижения наилучшего управления объектом целенаправленно изменяются параметры управляющих воздействий или алгоритм управления, причем характеристики объекта или воздействия внешней среды могут изменяться заранее непредвиденным образом. Для достижения высокого качества управления необходимо автоматическое пополнение недостающей информации в процессе работы системы. О степени достижения полноты информации можно судить по некоторому критерию качества. Обычно критерий качества связан с теми характеристиками, по которым происходит адаптация [1].

Источниками информации, необходимой для настройки управляющего устройства, могут быть: контролируемые возмущения V ; выходные переменные объекта Y ; управляющие воздействия на объект U ; настроечные воздействия v . Кроме того, на систему действуют неконтролируемые возмущения F .

На микрогеометрию поверхности при фрезеровании в основном влияют такие факторы как [3,4]:

- режим фрезерования (скорость резания, подача на зуб, глубина резания, род охлаждаемой жидкости);
- вибрации, вследствие недостаточной жесткости станка, приспособления, инструмента и детали;
- геометрия режущей части и износ зуба фрезы (трение задней поверхности зуба об обработанную поверхность);

- колебание механических свойств обрабатываемого материала и материала инструмента.

Для осуществления управления параметрами качества не обходимо установить зависимость между параметрами, характеризующими состояние поверхностного слоя, с условиями их обработки, а также учесть внешние возмущения, влияющие на результат.

Структурная схема системы адаптивного управления имеет вид (рис.1). Адаптивная система управления разрабатывается на базе фрезерного станка модели MC 032 с УЧПУ NC-110. Система состоит из технологической системы (ТС): станок - приспособление - инструмент – заготовка, датчиков (Д), модуля сопряжения (МС), преобразователя уровня (ПУ), и электронно-вычислительной машины (ЭВМ). УЧПУ является управляющей системой и осуществляет управление технологической системой. Датчики снимают информацию о значениях параметров качества обработанной поверхности, а также о текущем состоянии ТС, информация предварительно обрабатывается и передается на ЭВМ при помощи МС. Модуль сопряжения обеспечивает обмен информацией в системе датчик-ЭВМ-УЧПУ. Модуль сопряжения включает в себя усилитель (У), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микроконтроллер (МК).

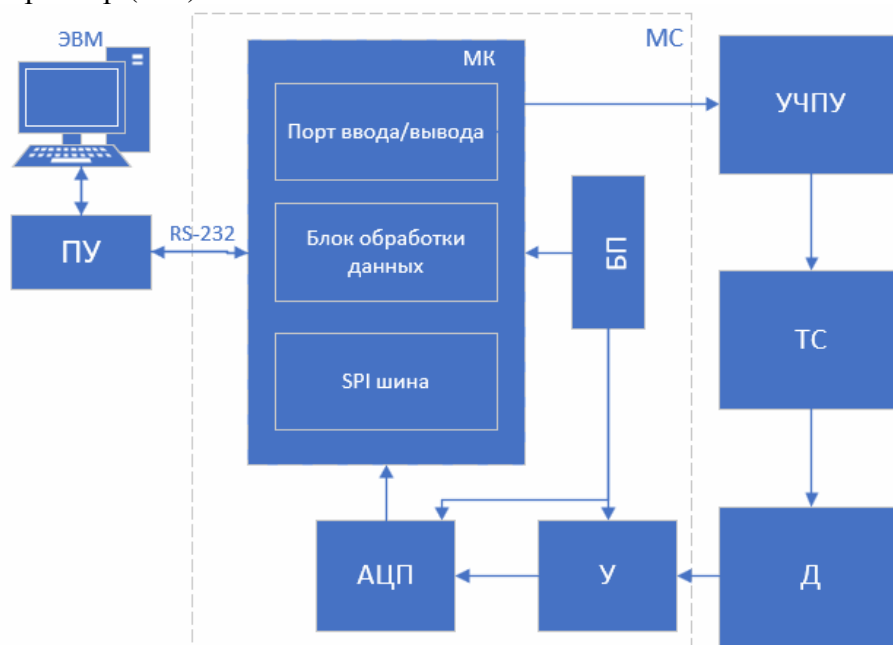


Рис.1. Структурная схема адаптивной системы управления

Сигнал от АЦП поступает по стандартному SPI совместимому последовательному интерфейсу в МК, а затем в ЭВМ, где происходит вычисление поправки режимов резания, скорректированные значения передаются от ЭВМ контроллеру, а затем в УЧПУ. Связь ЭВМ с контроллером осуществляется через стандартный интерфейс RS-232, а связь контроллера с системой ЧПУ NC-110 через порты ввода/вывода.

На рисунке 2 представлен принцип адаптивного управления для фрезерного станка с числовым программным управлением.

Сначала в управляющую ЭВМ вводят требуемые показатели качества поверхностного слоя детали. Затем вводятся известные технологические условия обработки: геометрии детали и режущего инструмента, марок обрабатываемого и

инструментальных материалов, параметров станочного оборудования и приспособлений и др., которые сохраняются в БД для дальнейшего использования. После ввода всех необходимых данных, для полученных условий обработки, определяется оптимальное значение режимов резания (скорость резания, величина подачи, глубина резания) и пределы их возможных отклонений, зависящие от величин допустимых отклонений параметров качества. Полученные режимы резания передаются в УЧПУ и производится обработка детали.

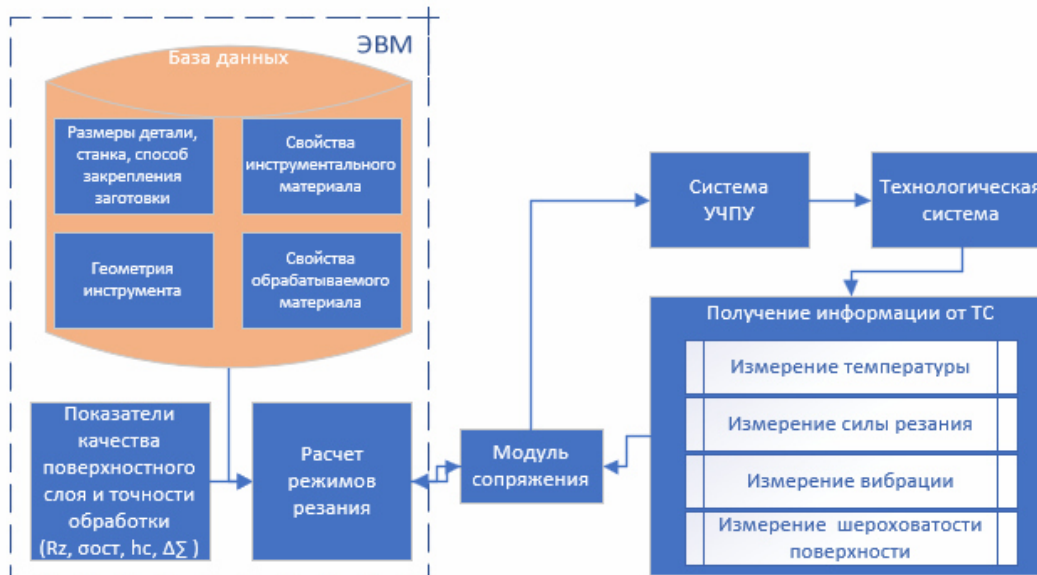


Рис. 2. Адаптивное управление процессом обработки

Во время обработки в технологической системе возникают возмущающие воздействия: изменение температуры в зоне резания, силы резания, вибрации, числовые показатели которых вместе с данными о шероховатости обработанной поверхности поступают в ЭВМ. В ЭВМ определяется выходят ли обеспечиваемые параметры за допустимые значения или нет. Если обеспечиваемые параметры выходят за допустимые значения, то по специальному алгоритму и математической модели происходит расчет необходимой корректировки исходного режима обработки, для обеспечения заданных показателей качества поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Оснащение станка адаптивной системой управления позволит обеспечить требуемые значения параметров качества поверхностного слоя деталей при обработке, несмотря на колебания твердости и припуска заготовки, износа инструмента, изменения жесткости технологической системы, возникновения вибраций и других факторов, влияющих на качество в процессе обработки.

Список литературы: 1. Александровский Н.М. и др. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами. Под общей ред. Н.М Александровского. М., «Энергия», 1973. – с. 272, ил. 2. Барбашов Ф.А. Фрезерное дело. Учебное пособие для учебных заведений профтехобразования. М., «Выш.школа». 1973. 280 с. ил. 3. Инженерия поверхности деталей/ А.Г. Суслов [и др.]; под ред. А.Г. Суслова. - М.: Машиностроение. – 2008. – 320 с 4. Научные технологии в машиностроении / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный и др.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2012. 528 с.

УДК 621.9

РАЗРАБОТКА И МОДЕРНИЗАЦИЯ САМОДЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА

Пастушенко П.Н., Мамолат А.Г., Цокур В.П. (ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация. Для изучения работы отдельных узлов конструкции и их усовершенствования изготовлен самодельный 3D принтер, работающий с различными пластиковыми материалами и различными диаметрами отверстия экструдера.

Ключевые слова: принтер, экструдер, пластик, винт, гайка, ремень, стол, нагрев, arduino, управление

Введение

Первые 3D принтеры были изготовлены ещё в 80-х годах прошлого столетия, а в 90-х основатель компании Stratasys Скотт Крамп разработал технологию печатных оттисков, которая в будущем получила название FDM, или же метод наплавления. Чуть позднее была основана компания 3D Systems, к сегменту производства 3D принтеров присоединилась Solidscapе, которая ранее занималась созданием двухмерных принтеров.

Существует довольно большое разнообразие 3D принтеров, каждый из которых работает по определённой технологии. Где-то задействуются физические факторы и принципы, где-то химические. Назвать какую-то конкретную технологию лучшей, чем другие пока что нельзя, потому что каждый вид имеет свои преимущества и недостатки, а до стандартизации устройств ещё очень далеко, так как каждый день открываются новые возможности и потенциал технологии ещё не раскрыт.

Фирма FDM предложила принтеры привязать к Декартовой системе координат, чтобы объект, во время создания мог быть обработан по осям XYZ. что более точнее, чем прямоугольная система координат.

Многие FDM принтеры выпускаются с деревянными корпусами - такое решение кажется дешевым, но на самом деле помогает поглощать вибрации при печати, что положительно сказывается на качестве изготавливаемых моделей. С другой стороны, стальная или алюминиевая рама обеспечивает долговечность и ударостойкость устройства.

Имеет значение и открытая или закрытая конструкция принтера. Хорошо вентилируемая рабочая камера полезна при печати полилактидом (он же PLA-пластик), так как этот материал долго стеклется. Если напечатанные слои не будут успевать застывать и схватываться, возможно, их растекание, либо деформация нижележащих слоев под давлением верхних.

В настоящее время используемые технологии применяют специальную классификацию 3D принтеров. Такие как: FDM; Polyjet или MJM; LENS; LOM; SLA; SLS; 3DP. [1]

С другой стороны, многие популярные материалы (например, ABS -пластик и нейлон) имеют высокую степень усадки. В случае с тем же ABS - пластиком чрезмерно быстрое и неравномерное охлаждение нанесенных слоев может привести к их закручиванию, либо деформации и растрескиванию модели в целом. В этом случае корпус с закрытой облицовкой позволяет добиваться медленного, равномерного охлаждения материала.

Несущие элементы конструкции и направляющие обычно выполняются из алюминия или стали. Перемещение экструдера и платформы по заданной программой

команде с высокой точностью осуществляется с помощью шаговых двигателей, ремней и винтов, что позволяет создать изделие.

Система координат 3D-принтера

Для того чтобы можно было создавать полноценные, объёмные объекты, принтер должен работать по трём направляющим: высота, ширина и длина. То есть механизмы должны организовать печать так, чтобы объект, во время создания мог быть обработан по осям XYZ. Такой эффект может достигаться при помощи движений печатающей головки, платформы, либо комбинировании обоих этих способов.

Благодаря определенной простоте базовой конструкции оборудования, позволяющего осуществлять объёмную печать, разработки в данной области ведутся как простыми людьми – энтузиастами 3d-печати, так и крупными отраслевыми компаниями и центрами разработки.[2]

Основой для 3D принтера выступает деревянная плита (1) толщиной 20мм. К плите крепятся 2 стальные пластины(2) для придания жесткости и дальнейшего крепления подвижного стола, вертикальных прецизионных направляющих оси Z (3), опорных шпилек M8 (4) и четырехзаходного винта (5). Прецизионные валы крепятся посредством опоры(6), которая крепится к стальной пластине и основе посредством 4 болтов с гайками M6 (35,36). Четырехзаходный винт, через отверстие в опоре и основе, посредством гибкой муфты (7) крепится к шаговому двигателю NEMA17 JK42HS40-1704-13A (8). (рисунок 2)

К прецизионным направляющим через 3 линейных подшипника(9) крепится каретка(10) оси Y. Перемещение каретки осуществляется через четырехзаходную гайку(11) и винт(5).

Для осуществления перемещения каретки экструдера (13) к каретке(10) через кронштейн(12) крепится шаговый двигатель NEMA17 JK42HS40-1704-13A (8) которым посредством зубчатого ремня GT2 (43) и осуществляется перемещение. Кронштейн(12) крепится к каретке (10) двумя болтами M4. Каретка (10) установлена на двух прецизионных направляющих (18) через 3 линейных подшипника(9). Прецизионные направляющие (18) закреплены в каретке (10) с одной стороны, с другой стороны установлен натяжитель ремня (19). На каретке экструдера (13) расположен Hotend экструдера E3D V6 0.4/1.75мм J-head с вентилятором (20).

Сверху прецизионные направляющие (3) удерживаются верхней опорой (14). Также вертикальная опора (14) удерживает радиальный подшипник (15) удерживающий четырехзаходный винт (5) уменьшая его биение и вибрацию. Верхняя опора (14) крепится к верхней пластине (2) четырьмя болтами с гайками M6 (35,36). Пластина (2) регулируется и крепится на четырех опорных шпильках M8 (4) гайками M8 (37). Сверху на пластине(2) закреплен экструдер M8 (16) приводимый в действие шаговым двигателем NEMA17 JK42HS40-1704-13A (8). С другой стороны на опорных шпильках M8 (4) закреплена жердочка (17) для бобины с филаментом.

На второй половине основания (1) на пластине (2), которая закреплена четырьмя болтами M10 (37), установлен стол (21), состоящий из четырех частей алюминиевого профиля (22, 23), соединенных болтами с гайками M4 (42,43). Для дополнительной жесткости и возможности плавной регулировки скреплен двумя шпильками M6 (24) с гайками M6 (36). Внутри профиля (23) установлена регулирующая вставка (25), которая жестко фиксируется шпильками (24), двумя болтами с гайками M5 (34) и служит базой для прецизионных направляющих оси X (26). Перемещение направляющих обеспечивается четырьмя линейными подшипниками (9) которые установлены в пластиковых буксах, состоящих из двух частей: основания (27), которое

закреплено шестью болтами с гайками М6 (35,36), и крышки (28) закреплённой восемью винтами М4 (40). в центре пластины (2) установлен шкив (29) обеспечивающий перемещение стола через зубчатый ремень GT2 (34) и обводной ролик (32). Движение шкива (29) обеспечивается шаговым двигателем NEMA17 JK42HS40-1704-13A. Сверху на алюминиевом профиле (22) установлены четыре пластиковых уголка (30), которые удерживают стекло (31).

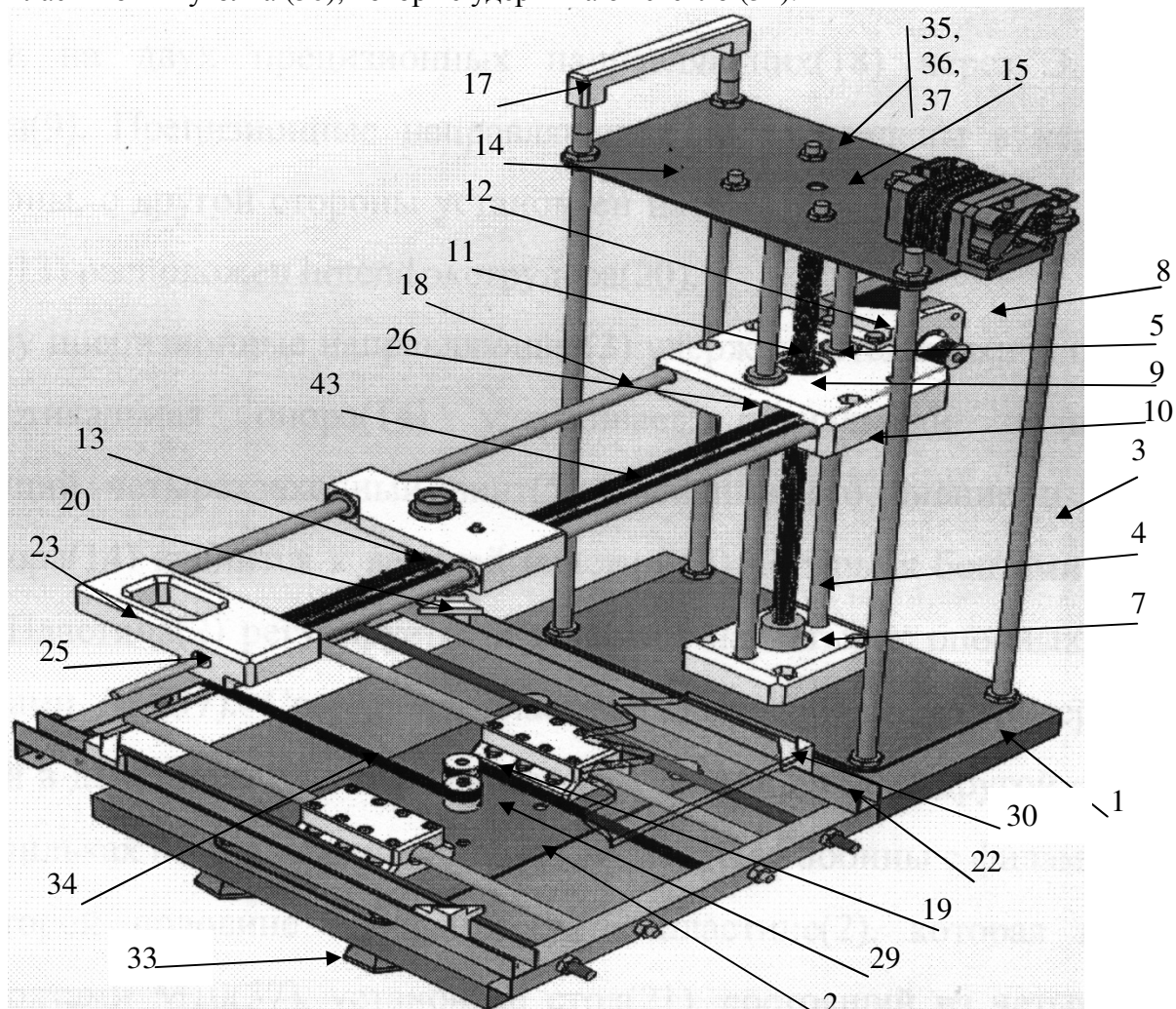


Рис. 2. Конструкция 3D принтера

Для обеспечения устойчивости принтер установлен на шести регулирующихся ножках (33).

Изначальная конструкция подвижного стола 3D-принтера не предусматривала возможности компенсации перекосов направляющих прецизионных осей возникавших связи с неточным позиционированием линейных подшипников в опоре стола или неточным позиционированием опор на деревянной плите. Такой стол не мог обеспечивать достаточную точность для печати первых слоев филамента что приводило к браку детали.

Была разработана новая модель конструкции стола, которая позволяла минимизировать неточности при установке деталей и погрешности в изготовлении этих деталей. В новой конструкции направляющие прецизионные валы устанавливаются на держатели (фиксаторы) вала SK8. Таким образом, валы будут одинаково параллельны

деревянной плите. Было решено заменить напечатанные на 3D-принтере опоры для фиксации подшипников на четыре подшипника SC8UU. Это позволит избавиться от неточностей опор, что в свою очередь приведет к параллельности всех четырех подшипников SC8UU.

На четыре подшипника SC8UU крепиться пластина из оргстекла толщиной 5мм с помощью болтов с гайками М6, что позволит избавиться от неточностей, создаваемые кареткой. На пластину из оргстекла крепятся четыре опорных шпильки М8 с гайками М8 и пружиной. Данная доработка позволит регулировать высоту и перекося пластины для печати. Стеклопластиковая пластина для печати была заменена на алюминиевую пластину с подогревом. Таким образом, адгезия плоскости для печати будет увеличена, первые слои филамента будут более качественными. Установка дополнительных концевиков позволит избежать технических поломок механизма подачи и увеличит возможность контроля за движением стола. Дополнительный датчик температуры для стола позволит регулировать температуру стола, что увеличит качество детали. Драйвер шагового двигателя подачи А4988, который имеет максимально точное управление микрошагом в 1\16, был заменён на драйвер DRV8825 с максимально точным управлением микрошага в 1\32. Данная замена позволит более точно управлять позиционированием экструдера по оси Z, что снизит возможные неточности при печати меньше 0.4 мм, а так же снизит шум от работы шагового двигателя. Был заменён нагревательный блок экструдера E3D V6 на более массивный МК8. Данная доработка позволит смягчить возможные резкие температурные перепады и увеличить площадь контакта между теном и нагревательным блоком, это уменьшит время подготовки перед печатью и улучшит качество модели.

Выводы

Были исследованы различные конструкции 3D-принтеров и выбран самый оптимальный вариант. Выбранная конструкция позволяет облегчить принтер и удешевить его производство. Были произведены исследования выбранной конструкции, которые показали её недостатки. Была произведена модернизация выбранной конструкции. Замена четырехзаходного винта подачи оси X и Y на ремни подачи. Полная реконструкция стола 3D-принтера. Замена драйвера двигателя оси Z. Установка дополнительных термодатчиков и концевиков. Замена нагревательного блока экструдера. Эти доработки помогут увеличить качество детали, улучшить точность позиционирования рабочих органов 3D-принтера относительно друг друга, увеличить долговечность конструкции, расширить возможности работы принтера. Выше перечисленные доработки увеличивают вес и инерцию стола что негативно влияет на точность работы, но проведённые измерения показали что данные неточности находятся в пределах нормы. Так же данные улучшения увеличили стоимость производства принтера, но она не выходит за назначенные рамки. Таким образом, новая доработанная конструкция 3D-принтера может считаться удачной.

Список литературы: 1. 3D-принтер - https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-%D0%BF%D1%80_%D0_%B8_%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80. 2. 3d-печать (аддитивное производство) - <https://mplast.by/encyklopedia/3d-pechat-additivnoe-proizvodstvo/>. 3. Руководство по эксплуатации 3D-принтера PicASO 3D Designes PRO250 24стр - <https://docplayer.ru/21023524-Instrukciya-po-ekspluatacii-3d-printera-prusa-i3-steel.html>

ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННО – МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗУБЬЕВ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ

Вильчик А.Г., Грубка Р.М.

(Кафедра технологии машиностроения, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

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

Ключевые слова: зуб, станок, модификация, деформация, метод копирования, профиль, эвольвента, дисковая модульная фреза.

Во многих механизмах используются различные зубчатые передачи и колеса, требования к производительности их изготовления и качеству которых непрерывно растут. В результате неточного изготовления и сборки зубчатых колес, корпуса и его деталей, упругой деформации опор, прогиба зубьев под нагрузкой и деформации зубчатых колес при термообработке происходит накопление погрешностей, которые ухудшают зацепление, вызывают неправильное расположение пятна контакта на зубьях сопряженной пары. В неблагоприятных случаях пятно контакта резко уменьшается и может возникнуть кромочный контакт, который приводит к высокой концентрации нагрузки на небольших участках боковой поверхности, интенсивному их износу и разрушению. Для компенсации неблагоприятного воздействия погрешностей и деформаций элементов зубчатых передач боковую поверхность зубьев модифицируют, изменяя ее геометрию [1, 2].

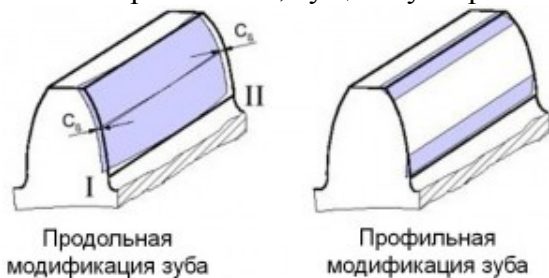
Под модификацией принято понимать отклонение поверхностей зуба или витка от его главной поверхности, то под локализацией контакта – обеспечение взаимодействия активных поверхностей в определенной зоне путем отвода поверхности в тело одного или обоих элементов кинематической пары [3]. Отвод активной поверхности от ее номинального положения может осуществляться четырьмя различными способами:

- реальная поверхность отведена от номинальной на крайних участках при сохранении линейного контакта на среднем участке. Этот случай имеет место при продольной локализации в передаче с цилиндрическим червяком и при профильной модификации в цилиндрических зубчатых передачах.

- точечный контакт соответствует профильной модификации бочкообразных зубьев.

- локально-линейный контакт подразумевает практически плотно прилегающие поверхности с приведенной кривизной активных поверхностей в контактной точке в некотором направлении равной нулю.

- кроме этого, существуют разновидности этих основных видов модификации.



Продольная
модификация зуба

Профильная
модификация зуба

Рис.1. Основные модификации зуба

К профильным модификациям относятся рис. 1 [4]: линейные модификации профиля головки и ножки зуба; дугообразная модификация профиля зуба; линейные модификация профиля головки и ножки зуба с переменными радиусами; бочкообразная профильная модификация; модификация угла профиля.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

К продольным модификациям относятся рис. 1: линейная модификация торца зуба; дугообразная модификация торца зуба; коррекция угла наклона линии зуба; бочкообразная продольная модификация; треугольная модификация торца зуба; модификация скручиванием.

Смешанная модификация представляет собой возможность существования линейного контакта в некоторой зоне по длине зуба при теоретически правильном расположении осей колес. При наличии погрешностей контакт переходит в точечный вне указанной зоны на участках с радиусами кривизны r_1 и r_2 . Для того чтобы разгрузить кромки зубьев, входящих и выходящих из зацепления профилей зубьев на модифицированных участках их можно выполнить эвольвентными, по переменного радиуса или, для повышения технологичности изготовления колес, одно колесо с прямолинейным профилем, другое – по дуге окружности или эллипса, или одно колесо с вогнутым профилем, а другое с выпуклым [5].

Глубина модификации выбирается в зависимости от допуска на неточность изготовления колес и от величины деформации зуба при номинальной нагрузке.

Наиболее эффективной, в плане повышения нагрузочной и компенсирующей способности зубчатых передач, является пространственная модификация рабочей поверхности зуба, обеспечивающая выравнивание нагрузок в зацеплении и функциональную точность, что позволяет улучшить эксплуатационные характеристики передачи за счет компенсации влияния погрешностей изготовления и деформации зубьев под нагрузкой. В настоящее время модификацию профилей зуба применяют в высокоскоростных, тяжело нагруженных зубчатых передачах.

В работе [6] приведена обобщённая система уравнений, которая позволяет определять параметры контактирования и координаты контактных точек в соединении двух цилиндрических колёс:

-для внешнего зацепления:

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 &= (m'_{11} \cos \phi_2 - m'_{12} \sin \phi_2)x_2 + (m'_{11} \sin \phi_2 + m'_{12} \cos \phi_2)y_2 + m'_{13}z_2 + \\
 &+ R_2 m'_{12} + m'_{14}; \\
 y_1 &= (m'_{21} \cos \phi_2 - m'_{22} \sin \phi_2)x_2 + (m'_{21} \sin \phi_2 + m'_{22} \cos \phi_2)y_2 + m'_{23}z_2 + \\
 &+ R_2 m'_{22} + m'_{24}; \\
 z_1 &= (m'_{31} \cos \phi_2 - m'_{32} \sin \phi_2)x_2 + (m'_{31} \sin \phi_2 + m'_{32} \cos \phi_2)y_2 + m'_{33}z_2 + \\
 &+ R_2 m'_{32} + m'_{34}; \\
 y_1 &= R_1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot x_1; \\
 &\left[x_2(\varphi_2) \sin \phi_2 (1 + (\cos \phi_2)^2) + y_2(\varphi_2) \cos \phi_2 (\sin \phi_2 - 1) - R_2 \right] \sin \phi_2 \frac{dx_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} + \\
 &+ \left[y_2(\varphi_2) + \cos \phi_2 + x_2(\varphi_2) \cos \phi_2 \sin \phi_2 (\sin \phi_2 - 1) \right] \frac{dy_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} = 0;
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

- для внутреннего зацепления:

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 &= (m'_{11} \cos \phi_2 - m'_{12} \sin \phi_2)x_2 + (m'_{11} \sin \phi_2 + m'_{12} \cos \phi_2)y_2 + m'_{13}z_2 - \\
 &- R_2 m'_{12} + m'_{14}; \\
 y_1 &= (m'_{21} \cos \phi_2 - m'_{22} \sin \phi_2)x_2 + (m'_{21} \sin \phi_2 + m'_{22} \cos \phi_2)y_2 + m'_{23}z_2 - \\
 &- R_2 m'_{22} + m'_{24}; \\
 z_1 &= (m'_{31} \cos \phi_2 - m'_{32} \sin \phi_2)x_2 + (m'_{31} \sin \phi_2 + m'_{32} \cos \phi_2)y_2 + m'_{33}z_2 - \\
 &- R_2 m'_{32} + m'_{34}; \\
 y_1 &= R_1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot x_1; \\
 & \left[x_2(\varphi_2) \sin \phi_2 (1 + (\cos \phi_2)^2) + y_2(\varphi_2) \cos \phi_2 (\sin \phi_2 - 1) \right] \sin \phi_2 \frac{dx_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} + \\
 & + \left[y_2(\varphi_2) - R_2 \cos \phi_2 + x_2(\varphi_2) \cos \phi_2 \sin \phi_2 (\sin \phi_2 - 1) \right] \frac{dy_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} = 0,
 \end{aligned} \right\} \begin{matrix} (2 \\) \end{matrix}$$

где x_1, y_1, z_1 — координаты контактной точки боковой поверхности зубьев шестерни;
 m'_{ij} — коэффициенты в обобщённых уравнениях для пространственного соединения цилиндрических зубчатых колёс, учитывающие наличие погрешностей и деформаций элементов передач [6];

R_1 — радиус делительной окружности шестерни;

φ_2 — угол развёрнутости эвольвенты зубчатого колеса;

ϕ_2 — угла поворота зубчатого колеса;

R_2 — радиус делительной окружности зубчатого колеса.

Одной из главных целей пространственной модификации является повышение долговечности зубчатых передач, за счет обеспечения заданного характера контактирования зубьев под действием рабочей нагрузки. При проектировании зубчатых передач это достигается путем учета всех возможных перемещений элементов зубчатой передачи, вызванных наличием погрешностей изготовления и монтажа, а также деформациями под действием рабочей нагрузки. При изготовлении зубчатых венцов стоит задача по наиболее полному приближению геометрии боковой поверхности нарезаемых зубьев к теоретически рассчитанной.

Для получения заданной геометрии боковой поверхности зубьев при нарезании колеса методом копирования дисковой фрезой требуется применение не стандартного режущего инструмента со специально спрофилированной режущей кромкой, что усложняет изготовление инструмента и снижает его точность. При нарезании пространственно-модифицированных зубьев стандартной дисковой модульной фрезой требуемая модификация боковой поверхности может быть получена изменением положения оси фрезы по отношению к оси зубчатого колеса и только на высоко

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

технологичном, современном оборудовании, имеющем пространственное передвижение в трехмерной системе координат по пяти осям.

Точность нарезаемого зубчатого венца при этом будет зависеть не только от способа обработки, точности применяемого технологического оборудования и технологической оснастки, но и от вида траектории относительного перемещения инструмента и заготовки [7]. Причем наибольшую точность можно обеспечить при аналитическом определении параметров заданной траектории относительного перемещения режущего инструмента в процессе формообразования, в зависимости от геометрии боковой поверхности зубьев (1) и (2).

Таким образом при использовании высоко технологичного, современного оборудования, стандартного режущего инструмента и при аналитическом определении параметров траектории относительного перемещения режущего инструмента с учетом геометрии его режущей кромки и геометрии боковой поверхности зуба, возможно нарезание пространственно-модифицированных зубьев с заданными геометрическими характеристиками методом копирования дисковой модульной фрезой.

Модификация элементов зубчатых колес и зубчатых передач – это сложная задача, которую невозможно выполнить без соответствующего расчётного инструмента. Для получения прироста долговечности при изменении конструкции зубчатого колеса и в частности за счет модификации боковой поверхности зубьев, необходимо производить точный расчёт зубчатого зацепления с учетом условий и режимов нагружения.

Решение данной задачи является сложной процедурой, требующей проведения множества расчетов, и наличие соответствующего оборудования для нарезания модифицированных зубчатых венцов.

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

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Корепов А. А., Буленков Е. А. (кафедра ТМ, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** Технологии дополненной реальности являются неотъемлемым инструментом Индустрии 4.0 и в настоящее время активно применяются в промышленности. В данной статье рассматриваются особенности применения технологий дополненной реальности при производстве деталей машин. Отмечена необходимость кооперации специалистов в различных отраслях знаний при работе по созданию приложений с дополненной реальностью.*

***Ключевые слова:** индустрия 4.0, дополненная реальность, производство, производительность.*

Основным направлением развития машиностроения в последние годы является внедрение технологий Индустрии 4.0. Основными драйверами развития Индустрии 4.0 являются: большие данные и аналитика, облачные вычисления, вертикальная и горизонтальная интеграция, киберфизические системы, автономные роботы, интернет вещей, кибербезопасность, аддитивное производство, виртуальная и дополненная реальность [1]. К сожалению, современный уровень инвестиций в развитие производства не дает в полной мере реализовать все эти технологии в Донбассе, однако некоторые из них, например технологии дополненной реальности, не требуют значительных инвестиций и могут быть реализованы. Технологии виртуальной, смешанной и дополненной реальности являются темой научных исследований уже около 50 лет. За последнее десятилетие были достигнуты значительные успехи, и данные технологии приближаются к внедрению в промышленности [2]. К сожалению, некоторые технические проблемы до сих пор не позволяют использовать их в промышленном производстве.

Технология виртуальной реальности формирует виртуальный мир, который не имеет ничего общего с окружающим реальным пространством. Визуально воспринимается только виртуальный мир, т.е. искусственно созданный виртуальный мир полностью заменяет собой реальный [1]. Разрушить естественность восприятия могут только рассогласования визуального восприятия с другими органами чувств. Например, можно налететь на реальную стену, которой нет в виртуальном мире, или упасть на ровном полу, спускаясь с виртуальной лестницы. Поэтому возможность рассогласования виртуального и реального миров это основная проблема технологии виртуальной реальности. Технология виртуальной реальности предполагает достаточно пассивное восприятие виртуального мира, когда не возникает необходимости контакта с реальным миром.

Технология смешанной реальности тоже формирует виртуальный мир, но этот виртуальный мир естественным образом накладывается на реальный, смешивая виртуальные и реальные объекты в единое целое [1]. Виртуальные объекты располагаются в реальном пространстве и человек уже не теряется в виртуальном пространстве, поскольку оно обладает ограничениями реального мира. Естественным применением систем смешанной реальности является средство «улучшения» реального мира, т.е. виртуальное прототипирование, когда расширяется реальный мир объектами, которые мы бы хотели там видеть, но по ряду причин, например, затраты на изготовление, мы не можем туда их поместить. Это особенно актуально при работах связанных с проек-

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

тированием, когда в имеющееся пространство надо оптимальным образом вписать новые объекты [1].

Главная цель технологии дополненной реальности – информирование человека об окружающей обстановке и предоставление всей необходимой информации об окружающих объектах (как визуальной, так и звуковой). Системы дополненной реальности могут использоваться как автономно, например, индикаторы на лобовом стекле автомобилей, самолетов, вертолетов, так и совместно с системами виртуальной и смешанной реальностей как дополнительные информационные системы и элементы интерфейса.

Повышение производительности труда человека, путем предоставления необходимой информации для конкретной задачи является целью дополненной реальности. В последнее время использование дополненной реальности распространяется на различные области производства.

Принцип дополненной реальности - это сочетание двух сценариев: реальность с цифровой обработкой и искусственные 2D и 3D-объекты. Особенности системы дополненной реальности являются [2]:

- 1) способность комбинировать реальные и виртуальные объекты в реальной среде;
- 2) способность встраивать друг в друга реальные и виртуальные объекты;
- 3) способность работать в интерактивном режиме, в 3D и в режиме реального времени.

Основные части системы дополненной реальности используют электронные устройства для прямого или косвенного просмотра реальной комбинации с виртуальными элементами. Такими элементами являются:

- элемент захвата изображения - достаточно веб-камеры;
- дисплей - для проекции виртуальной информации на изображения, полученные элементом захвата изображения. В основном, могут использоваться три типа устройств с оптическими опциями: переносные, носимые на голове и пространственные;
- блок обработки - для генерации виртуальной информации для проецирования;
- активирующие элементы - для запуска отображения виртуальной информации, например, датчиков, QR-маркеров, координат GPS, изображений и т. д.

Чтобы пользователь мог визуализировать информацию, устройства дополненной реальности используют следующие типы представления:

- видео - объединенные миры (реальный и виртуальный) в одном цифровом представлении;
- оптический - реальный мир с виртуальными объектами, наложенными непосредственно на вид;
- наложенный - прямое проецирование виртуальных объектов на сетчатку с использованием маломощного лазерного излучения;
- голограмма - смесь реального мира с виртуальными объектами с использованием фотометрической эмульсии;
- проекция - проекция виртуальных объектов непосредственно на объекты реального мира с использованием цифрового проектора.

Использование дополненной реальности в производственных процессах, связанных с моделированием, поддержкой и обслуживанием, помогает повысить производительность труда операторов [3]. Технологии дополненной реальности повышают восприятие реальности оператором. При этом присутствуют значительные сложности с визуальным оформлением элементов дополненной реальности (рис. 1).

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

При проектировании объектов дополненной реальности сложно применять принципы и правила, например, разработанные для пользовательских интерфейсов компьютерных программ, так как объекты виртуальной реальности встраиваются в реальную среду, которая динамически изменяется. Объекты виртуальной реальности должны подстраиваться под цветовое оформление реальной среды и не вызывать дискомфорта в восприятии, надписи и обозначения должны быть читаемыми и понятными на любом фоне. Сам размер элементов дополненной реальности тоже не определен, и может меняться в зависимости от окружающей среды.

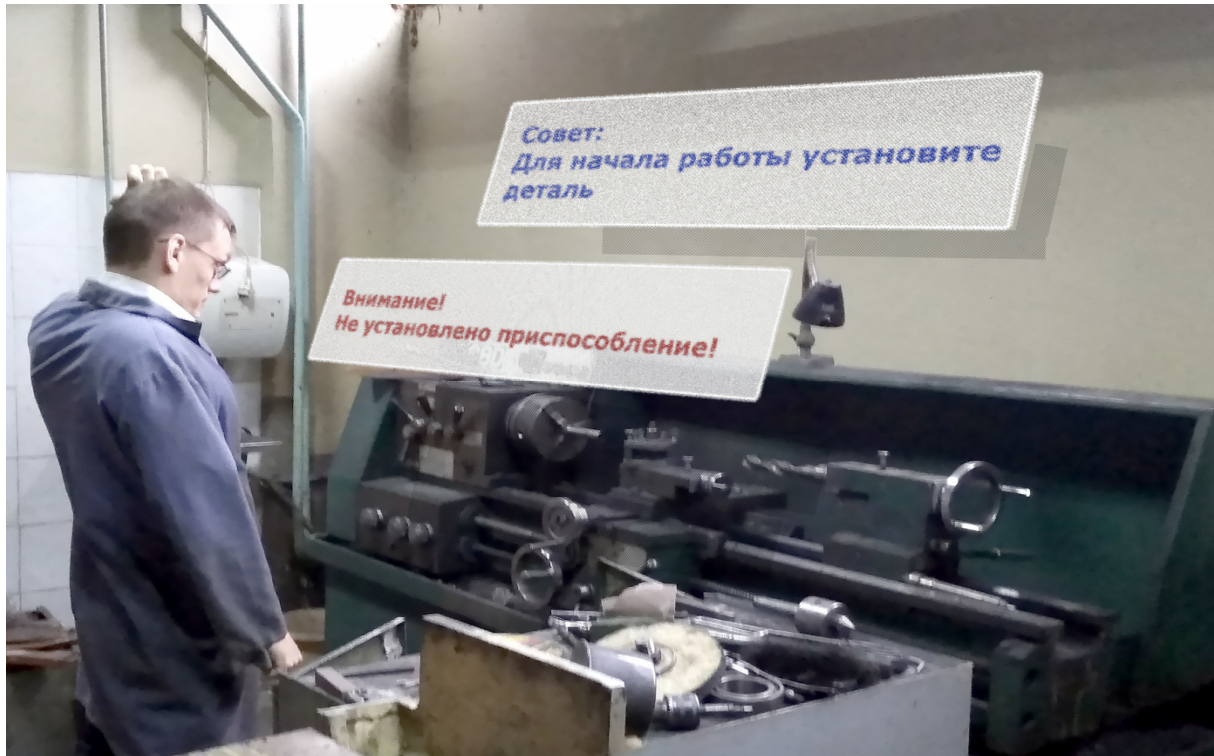


Рис. 1. Элементы дополненной реальности в производственной среде.

Таким образом, несмотря на очевидные преимущества, использование технологий дополненной реальности в производстве сталкивается со значительными трудностями, не относящимися непосредственно к вопросам технического характера. Принципы и правила оформления элементов дополненной реальности относятся, скорее, к области дизайна и должны формулироваться специалистами в данной области.

Список литературы: 1. Смолин А.А., Жданов Д.Д., Потемин И.С., Меженин А.В., Богатырев В.А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2018. – 59 с. 2. Sanjay Jain, Guodong Shao & Seung-Jun Shin (2017) Manufacturing data analytics using a virtual factory representation, International Journal of Production Research, 55:18, 5450-5464, DOI: 10.1080/00207543.2017.1321799 3. R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy & H. Torabmostaedi (2018) A systematic review of augmented reality applications in maintenance, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 49 215–228 DOI: 10.1016/j.rcim.2017.06.002

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА
ЛОПАТОК ГТД**

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

***Аннотация.** Рассмотрены основные методы повышения коррозионной и эрозионной стойкости поверхности лопаток ГТД за счет применения прогрессивных, композиционных и гибридных технологий.*

***Ключевые слова:** Технология, ресурс, лопатка, классификация, методы.*

Ресурс лопатки как отдельного элемента конструкции двигателя можно представить как наработку до предельно допустимого состояния, предшествующего фазе катастрофического износа. Современные вертолетные газотурбинные двигатели имеют ресурс до 30 000 часов до первого капитального ремонта. Общая технология производства лопаток ГТД включает в себя следующие этап (рис. 1).

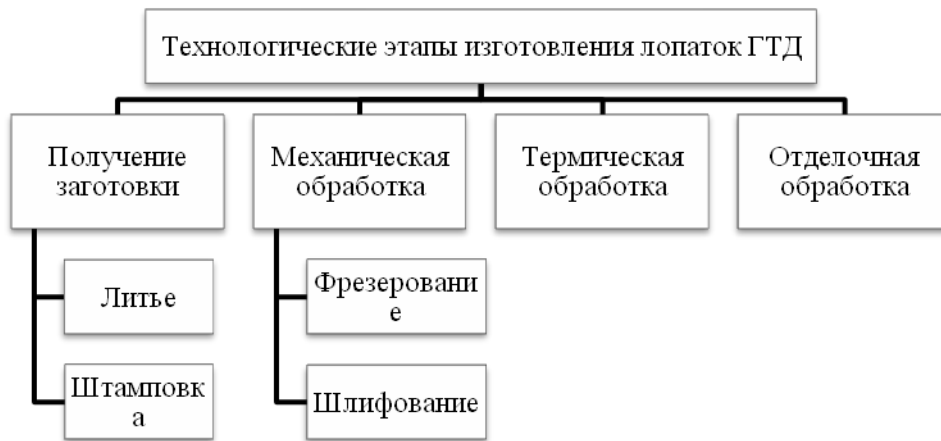


Рис. 1 – Технологические этапы изготовления лопаток ГТД

Наиболее глубоким по уровню воздействия на технологическую наследственность изделия является метод модифицирования заданных функций изделия еще на этапе формирования заготовки [1]. Однако вышеперечисленные этапы и методы не обеспечивают необходимого уровня надежности и долговечности детали. Для получения качественного и стойкого к эксплуатационным, термическим, коррозионным и эрозионным воздействиям изделия необходимо применять дополнительные технологические меры. В настоящее время для обработки лопаток применяют методы виброгалтовки, виброабразивной обработки, ультразвукового упрочнения и упрочнения методами поверхностного пластического деформирования [2].

Наиболее перспективным и экономически обоснованным направлением повышения ресурса и обеспечения износостойкости лопаток ГТД является активное внедрение операций по нанесению multifunctional protective coatings of various types.

Основные требования, предъявляемых к свойствам защитных покрытий:

- а) высокие пластические и прочностные свойства;

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- б) сопротивление статическим, циклическим и термическим нагрузкам;
- в) сопротивление агрессивным средам;
- г) эрозионная стойкость;
- д) высокий уровень адгезии к поверхности заготовки;
- е) стабильность химического состава, структуры и свойств покрытия;
- ж) отсутствие дефектов;
- з) простота реализации процесса нанесения;
- и) низкая стоимость.

Указанные требования могут использоваться в комплексе или быть взаимоисключающими друг друга. По этим причинам на сегодняшний день пока не существует универсальных покрытий, удовлетворяющих всем требованиям. Выбор покрытия происходит на базе компромисса, который принимается в результате рассмотрения конкретных начальных и эксплуатационных условий работы изделия [3].

Условно все существующие процессы нанесения защитных покрытий можно разделить по принципу реализации процесса на физические (Physical Vapour Deposition, PVD) и химические (Chemical Vapour Deposition, CVD) [25].

Химическое газофазное осаждение (CVD) является процессом, в котором устойчивые твердые продукты реакции зарождаются и растут на подложке в среде с протекающими в ней химическими реакциями. При этом используются различные источники энергии (плазма, ультрафиолетовое излучение и т.д.).

Термин «физическое газофазное осаждение» описывает три основных способа нанесения покрытий: испарение, распыление и ионное осаждение. При физическом осаждении материал покрытия переходит в газовую фазу из твердого состояния в результате испарения под воздействием тепловой энергии или в результате распыления за счет кинетической энергии столкновения частиц материала [4].

Сравнительный анализ различий процессов физического и химического осаждения защитных покрытий представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ PVD- и CVD-процессов.

Наименование характеристики	PVD-процесс	CVD-процесс
Давление	Вакуум или пониженное давление	Атмосферное или вакуум
Температура	200..500°C	700..1100°C
Скорость осаждения	2..4 ч	20..35 ч
Структура	Аморфно-тонкокристаллическая	Кристаллическая с гранями
Уровень адгезии покрытия к поверхности заготовки	Большая сцепляемость	Меньшая сцепляемость
Дефекты (поры, трещины)	Крайне редки	Возможны
Наносимые покрытия	TiN, TiC, TiCN, TiAlN, ZrC, HfN, HfC, CrN, Al ₂ O ₃ и др.	TiN, TiC, TiCN, Al ₂ O ₃ и др.
Необходимость в термообработке	Не требуется	Необходима для снятия напряжений

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Продолжение таблицы 1

Предварительная подготовка	Требуется высокое качество подготовки поверхности	Не требуется высокое качество подготовки поверхности
-------------------------------	--	--

Согласно проведенному анализу можно сделать вывод, что упрочняющая обработка лопаток ГТД методом физического осаждения покрытия более предпочтительна с точки зрения меньшего термического воздействия на материал заготовки, большей производительности процесса и более широкого выбора осаждаемых покрытий.

В производстве деталей для авиационного двигателестроения наибольший интерес представляют покрытия, реализуемые методом распыления. В частности, повсеместное распространение получил процесс ионного осаждения. Характерной особенностью этого метода является процесс ионной бомбардировки поверхности заготовки направленным потоком ионов высокой энергии. Это происходит как для очистки подложки перед нанесением покрытия, так и непосредственно в процессе. Материал покрытия нагревается любым методом: плазменным, электрическим, электронно-лучевым и т.д. Среди очевидных преимуществ ионно-плазменного метода нанесения покрытий – управляемый нагрев, очистка подложки на атомном уровне в процессе осаждения; высокая плотность материала покрытия, исключающая появление пор и трещин; высокая адгезия покрытия; высокая точность и производительность процесса осаждения; получение субмелкозернистой структуры покрытия [5].

Технология ионно-плазменного нанесения покрытий позволяет получать покрытия от 1 мкм толщиной практически из любых материалов среди тех, что активно используются в машиностроении в качестве защитных покрытий. Наибольшее распространение получило использование для ионизации соединений алюминия, хрома, циркония и титана. В таблице 2 приводим результаты коррозионных лабораторных испытаний образцов лопаток газовых турбин после ионно-плазменной обработки [6].

Таблица 2 – Результаты коррозионных лабораторных испытаний образцов из стали после ионно-плазменной обработки.

Вид ионов при Ионно-плазмен- ной обработке	Степень коррозионного поражения, % поверхности, после ускоренных циклических испытаний в количестве циклов			
	4	7	9	10
Al	Без дефектов	1..5	3..15	5..20
Cr	Без дефектов	5..30	30..40	40
Zr	Без дефектов	Без дефектов	Без дефектов	Отдельные точки коррозии
Ti	Без дефектов	Без дефектов	Без дефектов	Отдельные точки коррозии
Без покрытия	30..40	55..65	65..75	70..80

Специалистами АО «Мотор Сич» и Запорожского национального технического

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

университета были представлены результаты эксперимента, призванного дать сравнительную оценку степени относительного эрозионного износа лопаток ГТД с разным типом защитных покрытий и без такового [7].

Испытания проходили в стендовом режиме с использованием полноразмерного двигателя ТВЗ-117ВМА, укомплектованного рабочими лопатками с 16 вариантами покрытий. В качестве абразивного материала использовался кварц молотый пылевидный с грануляцией помола 0,02 мм. Результаты испытаний приведены в рисунке 2.

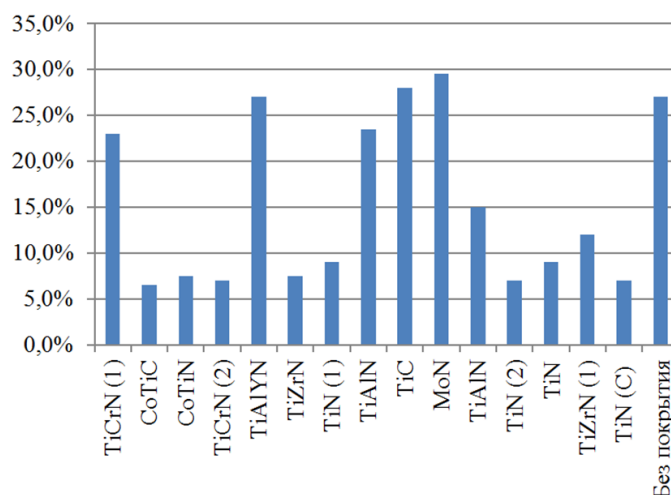


Рис. 2. Результаты оценки уровня эрозионного износа лопаток ГТД с различным типом защитных покрытий.

Соответственно представленным результатом наибольший интерес и перспективу использования несут в себе покрытия из нитрида титана (TiN).

Список литературы: 1. Каблов Е.Н. Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей. / Е.Н. Каблов, С.А. Мубояджян, С.А. Будиновский, А.Н. Луценко / Журнал «Металлы» №5. – М.: Изд-во ООО НПП «ЭЛИЗ», 2007. – С. 23-35. 2. Качан А.Я. Отделочно-упрочняющие технологии обработки лопаток моноколес современных газотурбинных двигателей. / А.Я. Качан, А.В. Богуслаев, Д.В. Павленко, С.В. Мозговой. / Журнал «Вестник двигателестроения» №1. – Запорожский национальный технический университет. – С. 81-90. 3. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. – Л.: Машиностроение, 1987. – 272 с. 4. Кривобоков В.П. Плазменные покрытия. Методы и оборудование. Учеб. пособие. / В.П. Кривобоков, Н.С. Сочугов, А.А. Соловьёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 104 с. 5. Кирюханцев-Корнеев Ф.В. Перспективные наноструктурные покрытия для машиностроения. / Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, А.Н. Швейко, Е.А. Левашов, Д.В. Штанский. / Журнал «Вопросы материаловедения», № 2 (54), 2008. – С. 187-201. 6. Мубояджян С.А. Эрозионностойкие покрытия из нитридов и карбидов металлов и их плазмохимический синтез. / С.А. Мубояджян. / Журнал «Российский химический журнал», №1, 2010. – 19 с. 7. Ефанов В.С. Эрозионная стойкость лопаток компрессора вертолетных ГТД с различными типами покрытий. / В.С. Ефанов, А.Н. Прокопенко, А.В. Овчинников, Ю.Н. Внуков. - Журнал «Вестник двигателестроения» №1, 2017. – Запорожский национальный технический университет. – С. 120-123.

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА
РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Михедова Н.В., Дьяченко Е.А., Лахин А.М.

(Кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Тел.: (062)301-08-05; e-mail: lelax@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрены этапы подготовки поверхностей зубчатых колес к нанесению вакуумных ионно-плазменных покрытий, включающие: полирование, ультразвуковую чистку, а также использование защитных масок для нерабочих поверхностей зубчатых колес. Представлены результаты нанесения покрытий на рабочие поверхности зубьев.

Ключевые слова: Зубчатое колесо, технология, качество, покрытие.

1. Введение.

Зубчатые колеса работают в сложных условиях при их эксплуатации, что обусловлено необходимостью передачи значительных нагрузок в процессе работы, наличием высоких изгибных и контактных напряжений в зубьях, взаимным скольжением профилей контактируемых зубьев, возникновением кромоочного контакта в зацеплении. Эти условия являются причинами возникновения различных видов разрушений зубьев [3]. В тоже время, используемые технологические методы не в полной мере учитывают условия эксплуатации отдельных элементов зубчатых колес принимающих непосредственное участие в процессе работы передачи, рассматривая характерные условия работы целыми элементами зубчатых колес, не учитывая действия эксплуатационных условий на отдельные зоны функциональных элементов зубьев. Например: упрочнению, как правило, подвергается весь зубчатый венец, тогда как повышенный износ наблюдается лишь на боковых поверхностях зубьев. В тоже время характер этого износа неравномерен, и подчиняется некоторым закономерностям.

Изучая технологические методы, направленные на повышение качества зубчатых колес [2], отметим, что в настоящий момент развитие технологии производства зубчатых колес идут в следующих основных направлениях:

- снижение объема механической обработки за счет совершенствования конструкции и повышения точности заготовок зубчатых колес;
- повышение качества и эффективности производства зубчатых колес за счет рационализации известных методов обработки зубьев.

Целью работы является разработка технологического обеспечения повышения качества зубчатых колес на основе нанесения функционально-ориентированных покрытий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Разработать классификацию элементов зубчатых колес по функциональным признакам;
- 2) Предложить рациональный метод повышения износостойкости зубьев;
- 3) Разработать технологию подготовки поверхностей к нанесению функционально-ориентированных покрытий.

2. Общее содержание и результаты работы.

Функционально-ориентированные технологии представляют собой особый класс технологий, который позволяют максимально адаптировать изделия к условиям их

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

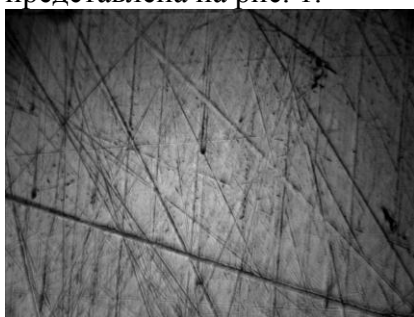
эксплуатации в машине или технологической системе [1]. Их главными особенностями являются реализация по уровням глубины технологии и на местном уровне, а также использование принципов ориентации технологических воздействий и свойств особенностям эксплуатации изделия или части изделия. При этом изделием можно рассматривать как машину, так и сборочный узел, или же отдельные детали.

Согласно классификации [1], все элементы зубчатых колес, условно разделяются на исполнительные (рабочие и базирующие), связующие, вспомогательные и исполнительные. При этом наибольшие требования предъявляются к исполнительным рабочим элементам зубчатых колес, связанные с передачей крутящего момента. В процессе работы данные элементы воспринимают силы зацепления и, как следствие, в них образуются изгибные и контактные напряжения. Кроме этого в зоне контакта зубьев действуют силы трения, вызванные взаимным скольжением профилей зубьев.

Одним из прогрессивных способов повышения качества рабочих элементов зубчатых колес, является нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий, поскольку данный способ позволяет значительно повысить физико-механические свойства поверхностных слоев зубьев за счет сверхтонких пленок, практически не оказывающих влияния на точность зубчатых колес. Это позволяет увеличить контактную прочность и несколько увеличить стойкость к механическому износу зубьев.

Рассмотрим основные этапы технологического процесса нанесения покрытий на рабочие элементы зубчатых колес.

После формообразования зубчатых колес и достижения требуемой точности зубьев, начальным этапом является подготовка рабочих поверхностей к нанесению покрытий. Это вызвано требованиями, связанными с необходимостью обеспечения надежной адгезионной связи покрытия с подложкой. Для этого использовалось однократное шлифование, предварительное и чистовое полирование зубьев, а также чистка в ультразвуковой ванне. Для шлифования применимы традиционные методы шлифования зубьев. Полирование выполнено с использованием специального войлочного полировального круга, соответствующего профилю впадины зубьев. Шлифовальные порошки, используемые при полировании: для предварительного АСМ 10/7, для чистового АСМ 7/5. При этом достигнута шероховатость поверхностей: после чистового полирования: $Ra=0.08$ мкм, при чистовом $Ra=0.05$ мкм. После полирования выполнена чистка в ультразвуковой ванне, с целью удаления с поверхности органических загрязнений, а также снятия с поверхности мелких дефектов предыдущей обработки. Структура поверхности до и после чистки в ультразвуковой ванне, представлена на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Структура поверхностей зубчатых колес до и после ультразвуковой чистки (увеличение $\times 200$): а) полирование, б) ультразвуковая чистка

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

После нанесения покрытий на рабочие элементы зубчатых колес, требуется обеспечить заданные параметры качества рабочих поверхностей. Для этого требуется дополнительная отделочная обработка (полирование). При этом, в следствии ограниченной толщины наносимого покрытия, которое составляет 3...7 мкм, традиционное полирование может нарушить данное покрытие. Поэтому в данном случае целесообразно применять высотно-сглаживающее полирование (глянцевание), с размером зерен, меньше толщины покрытия, зернистостью М5...М10, с твердостью абразивного материала, меньше твердости наносимого покрытия.

При нанесении покрытий на рабочие элементы зубчатых колес, возникает задача направленного равномерного нанесения покрытий на рабочие элементы зубьев. При этом необходимо предохранить остальные поверхностей, не требующих свойств, обеспечиваемых покрытием. Для этого предложено устройство (рис. 2, а) и оснастка (рис. 2, б), обеспечивающее направленное действие потока наносимого покрытия, и предохраняющее нерабочие поверхности зубчатых колес от плазменного потока.

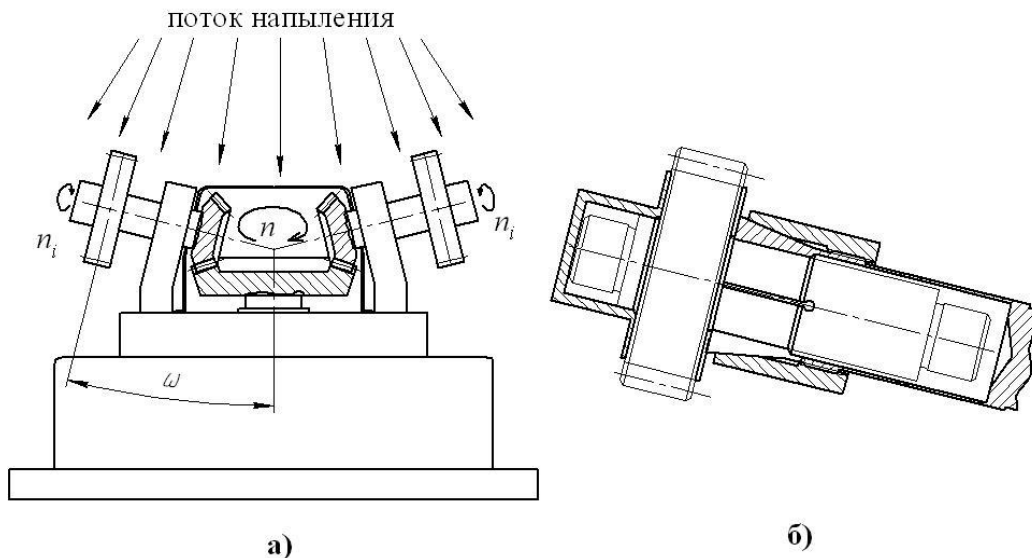


Рис. 2. Устройство (а) и технологическая оснастка (б) для направленного нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий

Устройство (рис. 2, а) предназначено для попеременного доступа потока наносимого покрытия ко всем частям зубчатого венца. Это достигается за счет вращения заготовок, и расположения рабочих поверхностей к потоку за счет наклона зубчатых венцов под углом ω к потоку наносимого покрытия. Коническая зубчатая передача в данном устройстве, связана с механизмом вращения стола установки ННВ 6.6-1. Привод механизма вращения зубчатых колес, предохранен от действия наносимой среды защитным кожухом.

Технологическая оснастка для нанесения покрытий (рис. 2, б) представляет собой приспособление для закрепления заготовки и передачи вращательного движения от устройства вращения (рис. 2, а), а также предохранения нерабочих участков (торцов и шеек вала-шестерни) от плазменного потока.

В результате нанесения нитрид-титанового покрытия на рабочие элементы зубчатых колес, микротвердость на поверхностях зубьев составила $(1,8...2) \cdot 10^3$ МПа, при исходных значениях $(0,2..0,3) \cdot 10^3$ МПа. При этом значительно повысилась стойкость к механическому износу зубьев.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Результаты нанесения покрытий на рабочие элементы зубчатых колес с использованием защитной оснастки для участков не требующих покрытий представлены графиками изменения толщины покрытия и микротвердости в зависимости от высоты образующей зуба (рис. 3). Данные графики позволяют выделить тенденцию к уменьшению толщины покрытия на профиле у ножки зуба, что свидетельствует о наиболее вероятном образовании теневых зон в данных участках.

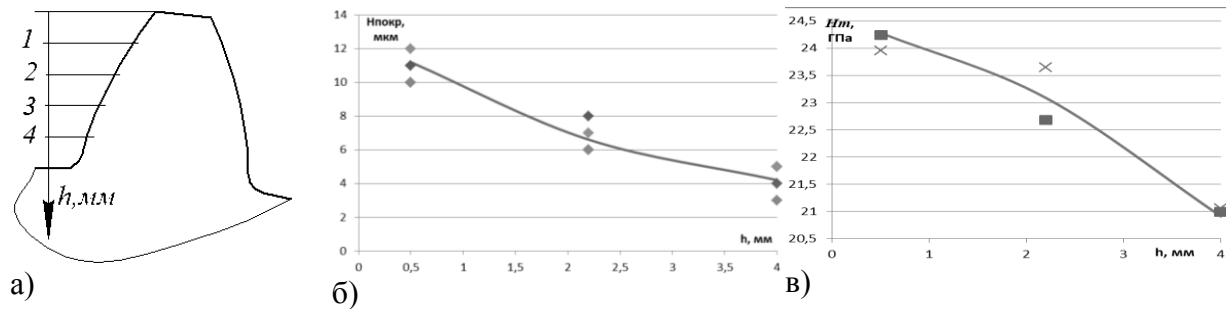


Рис. 3. Результаты измерения толщины покрытия и микротвердости по высоте зуба после нанесения покрытий: а) точки измерения, б) график изменения толщины покрытия, в) график изменения микротвердости

Таким образом, использование функционально-ориентированного подхода для повышения качества зубчатых колес на основе использования вакуумных ионно-плазменных покрытий, позволяет значительно повысить эксплуатационные показатели зубчатых колес, а также дает возможность достичь качественно новой совокупности свойств.

3. Выводы.

1. В работе выполнена классификация и анализ условий работы зубчатых колес которые определяют основные причины снижения эксплуатационных характеристик и выхода из строя зубчатых колес.
2. Представлена классификация элементов зубчатых колес по функциональному назначению.
3. Рассмотрены условия работы рабочих элементов зубчатых колес и возникающие при этом эксплуатационные функции, на основании которых возможно определение структуры технологических воздействий.
4. Для повышения износостойкости зубьев по их высоте, предложены варианты технологических воздействий на основе нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - 346 с. 2. Производство зубчатых колес. Справочник. С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган, и др. Под. ред. Б.А.Тайца. - Изд. 3-е, перераб. и допол.– М.: Машиностроение, 1990. – 464 с. 3. Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи. - М.: «Машгис», 1957. – 263 с.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЧЕРВЯКОВ ЛЕБЕДКИ HW-AB 1000

Лось Е.П., Лахин А.М. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (071) 3805045; E-mail: egorich222247@gmail.com

Аннотация. В статье приведены данные по особенностям обработки червяков лебедки HW-AB 1000. Автором было проанализировано конструкция детали и ее назначение. Выполнены расчеты для определения размеров и типа получаемой заготовки. Разработан маршрутный технологический процесс обработки детали, выбрано основное технологическое оборудование. Были исследованы особенности обработки червяка лебедки. А именно нарезание червяков резцами, в котором рассмотрели свои особенности обработки, нарезание червяков многозубой режущей головкой и окончательная обработка полирование червячного венца.

Ключевые слова: червяк, синтез, многозубая, процесс, обработка.

1. Введение

В условиях современного состояния промышленности важнейшей целью является развитие технологии машиностроения. Это достигается повышением производительности технологических процессов, повышением качества выпускаемой продукции, повышением уровня их автоматизации, а также снижением себестоимости изготовления единицы продукции. Выполнение этих условий требует более рационального подхода при проектировании новых технологий, а также более тщательной проработки отдельных моментов в проектировании технологических процессов.

Технологические процессы серийного производства имеют ряд особенностей, которые проявляются при проектировании технологий. Среди этих особенностей средняя номенклатура выпускаемых изделий, большая программа выпуска. Применение технологических процессов серийного производства требует более низкой себестоимости единицы изделия по сравнению с изготовлением аналогичных изделий в мелкосерийном и единичном производствах. Это достигается за счет повышения капитальных затрат на технологическую подготовку производства: применением более дорогих станков, оснащённых ЧПУ, применением на ряду со стандартной технологической оснасткой и специальной, более тщательным составлением технологической документации и подбором инструмента, в некоторых случаях применением специального режущего инструмента.

При выполнении работы были поставлена цель и задачи исследования.

Цель: Повысить производительность труда и снизить себестоимость изготовления червяков лебедки HW-AB 1000 за счет применения современного оборудования и специальной технологической оснастки путем разработки прогрессивного технологического процесса.

Задачи:

1) Проанализировать конструкцию и принцип



Рис. 1. Лебедка ручная червячная HW-AB 1000

действия лебедки

2) Исследовать особенности нарезание червяков резцами

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- 3) Исследовать особенности нарезание многозубой резцовой головкой
- 4) Исследовать процесс окончательной обработки червячного венца.

2. Основное содержание и результаты работы

Лебедка ручная червячная HW-AB 1000 (рис. 1 и рис. 2) - предназначена для строительных, монтажных и других работ, а также для комплектации строительных подъемных устройств. Лебедка оснащена храповым механизмом, препятствующим произвольному вращению барабана и грузоупорным тормозом, состоящему из фрикционных дисков.

Размещение рукоятки позволяет удобно пользоваться лебедкой закрепленной как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости. Обязательно убедитесь, что конструкция выдержит нагрузки, под которые предназначена лебедка.

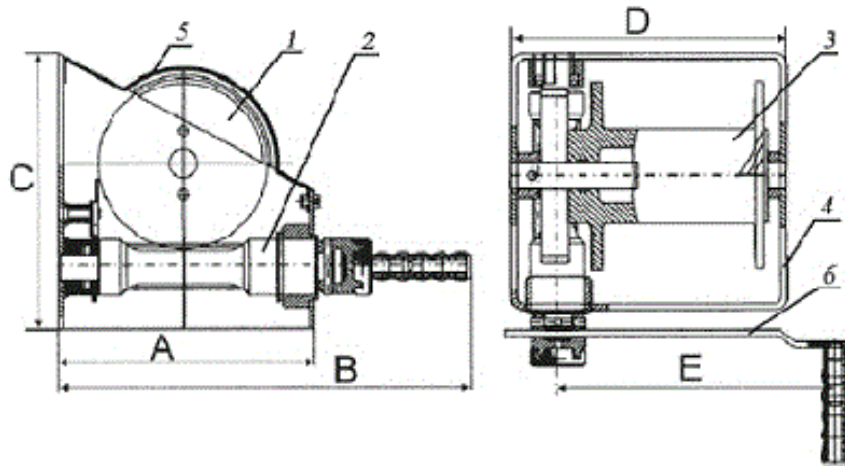


Рис. 2. Схема Лебедки HW-AB 1000: 1-колесо; 2-червячный вал; 3-барабан; 4-корпус; 5-кожух; 6-рукоятка. Деталь – червяк, входит в редуктор и предназначен для передачи крутящего момента от рукояти на барабан.

Нарезание червяков резцами

Геометрия образования витков червяка на зубофрезерном станке требует, в отличие от цилиндрических червяков, установки червяка в инструментальный шпиндель станка, а режущего инструмента на стол станка. Изменение угла подъема витка червяка не позволяет получить теоретически правильный профиль витка при нарезании объемным инструментом.

Нарезание витка червяка резцом производится следующим образом. Для установки червяка в шпинделе станка на одном из концов червяка выполняется технологический конус с лысками по размерам посадочного места шпинделя либо другого размера при наличии переходной втулки. Нарезаемый червяк должен быть точно установлен в шпинделе станка, при этом режущая кромка резца должна лежать в осевой плоскости червяка, совпадающей с плоскостью вращения резца. Центр червяка относительно оси вращения резцов устанавливается путем выверки размера С от центра глобоида до базового торца. Точность установки червяка, резцов и приспособлений при предварительном нарезании червяка регламентируется только лишь величиной припуска на окончательное нарезание: чем точнее произведена. Установка, чем меньший припуск можно оставлять на окончательное нарезание, по припуску должен быть не менее 0,3-0,5 мм на сторону.

Проверка отсутствия смещения кромок из осевой плоскости червяка и

параллельности кромок плоскости вращения резцов производится при помощи штангеля высоты, снабженного индикатором, а смещение центра глобоида от оси вращения резцов - специальным шаблоном (рис.3).

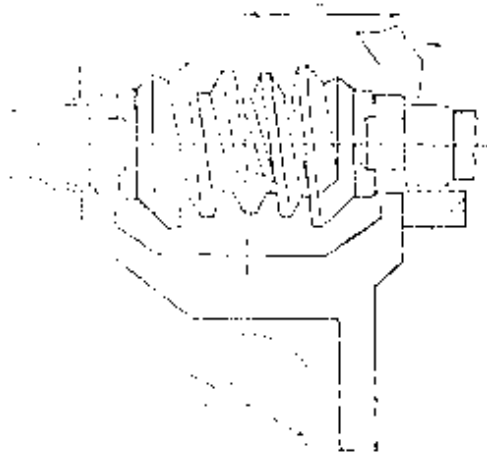


Рис. 3. Установка червяки по центру глобоида специальным шаблоном и щупом

Нарезание червяка многозубой резцовой головкой

Многозубая резцовая головка, применяемая для нарезания витка червяка, позволяет резко увеличить производительность по сравнению с однорезцовой головкой, учитывая сложность и стоимость изготовления, многозубые головки рекомендуется применять только в серийном и массовом производствах как для чернового так и для чистового нарезания, черновое нарезание можно производить двумя способами методом радиальной подачи и методом протягивания.

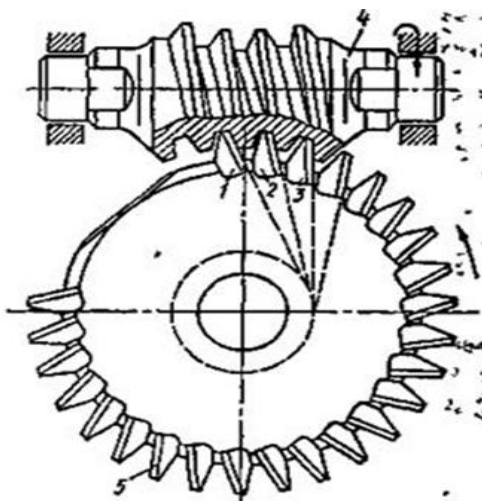


Рис.4. Чистовое нарезание червяка многозубой резцовой головкой:
1,2,3-резцы, 4-червяк, 5-резцовая головка

Метод радиальной подачи заключается в следующем. Многозубая резцовая головка со вставными ножами или цельная с размером зуба, оставляющим припуск на чистовую обработку, устанавливается по высоте и по центру глобоида аналогично однорезцовым головкам. Нарезание витка червяка производится радиальным сближением резцовой головки с червяком. Чем больше зубьев имеет многозубая резцовая головка, тем выше ее производительность. Наибольшее число зубьев резцовой головки может быть равным числу зубьев сопрягаемого колеса.

Полное нарезание должно производиться за один оборот головки долбяка. Применение универсального оборудования для чернового нарезания витка червяка методом протягивания не рекомендуется из-за удлиненной кинематической цепи.

Чистовое нарезание червяка многозубой резцовой головкой (также может производиться двумя способами нарезанием отдельно каждой стороны витка червяка и одновременным обеих сторон витка червяка. Обработка одной стороны производится головкой, имеющей меньший или больший окружной шаг (в зависимости от

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

нарезаемой стороны) чем по чертежу червяка. Режущие кромки резцов должны при своем продолжении быть касательны к профильной окружности (рис 4). Обработка должна производиться на точно выверенном межосевом расстоянии. Плоскость режущих кромок должна проходить через ось червяка.

Постепенное резание происходит следующим образом: резец 1 при резании от нитки первой до четвертой образует виток с шагом, равным номинальному шагу червяка, резец 2 вследствие большего шага резцов головки срезают боковую сторону на величину равную разнице номинального окружного шага червяка и головки и тд. Головка для обработки другой стороны имеет окружной шаг меньший, чем окружной шаг червяка, и работает аналогично предыдущей головке.

Полирование профиля витка червяка

К червякам предъявляются высокие требования к классу чистоты поверхности профиля витка шлифование боковой поверхности глобоидного червяка представляет сравнительно большую технологическую трудность особенно при единичном и серийном производстве.

Для обеспечения качественного полирования витка червяка рекомендуется полировать мягким войлочным притиром с пастой. Войлочный притир представляет собой войлочное червячное колесо с прорезанными зубьями, набранное из листового войлока, зажатого с обеих сторон жесткими шайбами. Зуб войлочного колеса должен быть немного больше впадины червяка. Зубья шайб при работе не должны касаться полируемого червяка, они лишь создают опору войлочному зубу притира. Резкое улучшение качества поверхности профиля после полирования не наблюдается, так как на поверхности профиля витка остаются вырывы и задиры.

Достоинствами полирования витка червяка мягким притиром являются: доступность и простота применения в условиях любого производства; применение универсального зуборезного оборудования; простота конструкции и изготовления притира; возможность полирования заходной части витка червяка; способность к образованию главного клина на входе витка.

Недостатки: образование небольшого завала профиля витка; износ трущихся частей станка из-за попадания наждачной пыли; сравнительно малый срок службы притира, что становится особенно невыгодным в массовом производстве; высокая трудоемкость по сравнению с прикатным роликом; невозможность исправления погрешностей, полученных на предыдущих операциях; незначительное улучшение шероховатости поверхности профиля.

3. Заключение

Таким образом, было проанализирована конструкция и принцип работы червячной лебедки. Было исследованы особенности обработки и выяснили, что данные методы являются основные для получения червяка лебедки HW-AB 1000. Выявлены аналитические зависимости, связывающие геометрические параметры червяков и режущей части инструмента при различных ее положениях относительно нарезаемой заготовки. Теоретически обоснована целесообразность изготовления червяков в условиях многономенклатурного производства сборным инструментом с цилиндрическими вставными резцами.

Список литературы: 1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1. / под ред. А. Г.Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1986. –656 с. 2. Обработка металлов резанием: справочник технолога / под общ ред. А. А. Панова. – Москва: Машиностроение, 1988. – 736 с.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ЗВЕЗДОЧЕК

Огренич Д.В., Болтян А.В., Голубов Н.В., Горобец И.А.,
(каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР)

Аннотация: Статья посвящена вопросам звездочек цепных передач. Рассмотрены вопросы применения концевых модульных фрез для обработки звездочек. Приведен пример работы программы для подбора фрезы.

Ключевые слова: заготовка, поковка, фреза, погрешность, программа, результат.

Большое распространение в промышленности и сельском хозяйстве получили транспортные машины, в которых в качестве тягового органа используется круглозвенная цепь. Наиболее нагруженным элементом системы их привода являются звездочки, поскольку они воспринимают, как правило, высокую динамическую нагрузку, обусловленную характером взаимодействия рабочих органов машин со средой и местными сопротивлениями перемещению тяговой цепи. До настоящего времени тяговые звездочки изготавливались из отливок с последующей механической обработкой только центрального посадочного отверстия. Такая конструкция обуславливает низкую надежность звездочек в условиях динамических и ударных нагрузок вследствие частых поломок зубьев, [1].

Исследования, проведенные кафедрой «Технология машиностроения» ДонНТУ, доказывают возможность изготовления звездочек для тяговых круглозвенных цепей из поковок. В соответствии с рекомендуемым способом получения заготовки механической обработке должны подвергаться не только поверхности центрального отверстия, но и впадин между зубьями для размещения в них звеньев цепи, [1].

Наиболее сложной поверхностью звездочки являются впадины между зубьями, которые представляют собой сложную поверхность, образованную пересечением эвольвентной и цилиндрической поверхностями. Геометрические параметры впадин нормализованы, [2]. При использовании в качестве заготовки отливки, для удобства построения и упрощения изготовления литейной формы, эвольвентную поверхность аппроксимируют двумя цилиндрическими, что приводит к искажению формы поверхности впадин между зубьями. Разработана технология в которой для формообразования ложа впадины под звенья цепи используются концевые модульные фрезы, предназначенные для фрезерования зубьев зубчатых колес. Обработка впадин ведется на горизонтально-расточном станке с поворотным столом.

Стоит задача выбора концевой модульной фрезы под соответствующий калибр и шаг цепи (d , p). Для решения данной задачи разработан следующий алгоритм решения этой задачи:

1) Определяем возможные значения делительного диаметра модульной фрезы из условия, что делительный диаметр фрезы должен быть больше удвоенного радиуса впадины ложа звезды по ее делительному диаметру.

2) При обработке делительный диаметр фрезы должен «находиться» на делительном диаметре звезды.

3) Определяем число зубьев фиктивного зубчатого колеса, фрезеруемого с помощью выбранной модульной фрезы:

4) Уточняем параметры фрезы.

5) Поскольку число зубьев фиктивного зубчатого колеса всегда больше 12 (фрезы нормализованы), а фактическое число зубьев звезды принимается в соответствии с требованиями стандартов равным 5, 7 или 9, то делительный диаметр

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

выбранной фрезы всегда будет меньше удвоенного радиуса впадины ложа звезды по ее делительному диаметру.

б) Определяем величину заглубления фрезы и угол поворота фрезы относительно оси зуба звездочки.

В соответствии с предложенными зависимостями была разработана программа подбора параметров пальцевых модульных фрез для фрезерования ложа зуба. Она была реализована на ПЭВМ.

Результат реализации программного определения координат формообразования профиля зуба звезды были опробированы при изготовлении звездочек экспериментального стенда в ДонНТУ.

Разработанная программа позволяет оценить реальный профиль зуба звезды в любом его сечении плоскостью, перпендикулярной оси вращения звезды. Входные параметры: радиус делительной окружности, радиус отверстия звезды, радиус ложа звезды, наружный радиус фрезы и др. (рис. 1)

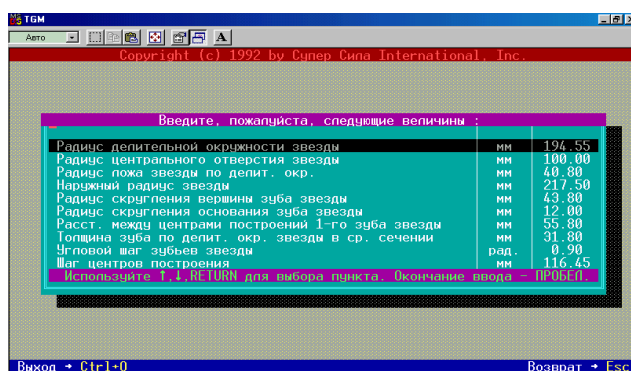


Рис. 1. Исходные данные для подбора параметров фрезы

Выходные параметры: модуль фрезы, число зубьев, величина заглубления фрезы и угол ее доворота (рис.2). Они являются исходными данными для наладки горизонтально-расточной операции.

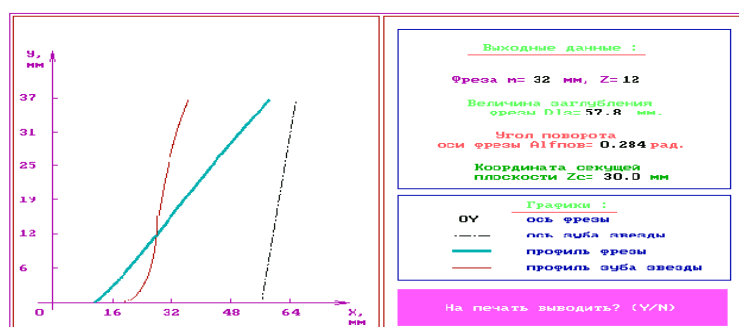


Рис. 2. Результаты работы программы

Список литературы: 1. Новый способ изготовления тяговых звездочек приводов горных машин / Болтян А.В., Куликов Д.Н., Барило А.В. // Тезисы докладов научн.-техн. конференции «Проблемы зубчатых передач и редукторостроения». — Харьков: НТО машиностроителей Украины, 1993. — С.90. **2.** ГОСТ 13561-89 «Звездочки для грузовых и тяговых круглозвенных цепей. Методы расчета и построения профиля зубьев. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — Введ. с 01.01.90. - 5с.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

СИНТЕЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В
УСЛОВИЯХ СРЕДНЕСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Огренич Д.В., Михайлов А.Н. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Телефон: +380713652502; Email: decanat@fimm.donntu.org

Аннотация. В статье приведены данные о повышении эффективности производства, путем синтеза в технологический процесс современных технологий, и современного оборудования на примере бакалаврской работы на тему «Спроектировать механический участок по производству деталей мотоблоков в условиях ДФ ОАО «Авиатех». В работе анализирует базовый технологический процесс, в котором используется универсальное оборудование, и на основании полученных данных разрабатывается принципиально новый, рациональный технологический процесс с использованием станков с ЧПУ, специального приспособления и инструментов. Сравниваются данные экономических показателей базового и рационального технологических процессов.

Ключевые слова: технологический процесс, синтез, станки с ЧПУ, штамповка, припуск, допуск.

1. Введение

Машиностроительная промышленность является ведущей отраслью народного хозяйства, которое определяет дальнейшее ускорение и развитие научно-технического процесса в других отраслях. Основными задачами машиностроения является непрерывное повышение качества машин и оборудования, совершенствование роста производительности труда на предприятиях. Выполнению этих задач способствуют организация работы на основе современных средств производства, внедрение передовой технологии и прогрессивной технологической оснастки.

В связи с этим важной задачей инженера-технолога является разработка рациональных и экономически целесообразных технологических процессов изготовления элементов машин с учётом прогрессивных технологий, приспособленных к условиям конкретного предприятия, которые обеспечат высокую производительность производства продукции при ее наименьшей себестоимости.

Для начала разберем изделие, в которое входит изучаемая деталь. Мотоблок — универсальное мобильное энергетическое средство на базе одноосного шасси, разновидность малогабаритного трактора. Слово мотоблок вошло в употребление в русском языке в 1980-е годы. Оно заменило неудобные в употреблении термины, используемые ранее: пешеходный трактор, малогабаритный пешеходный трактор, одноосный трактор. Оператор, управляющий мотоблоком, шагает вслед за машиной по обрабатываемой почве, держа машину за ручки управления.

Мотоблок Сич МБ-8 более мощная модель из семейства мотоблоков Сич. На ней установлена улучшенная постоянно замкнутая многодисковая муфта, передающая усилие от двигателя к трансмиссии с максимальной эффективностью. Мотор в версии Сич МБ-8 довольно мощный, что позволяет легко маневрировать и обрабатывать землю большой площади. 4 передних скорости облегчают выбор удобного режима работы.

Агрегат мотоблок «Мотор Сич МБ-8» прост и удобен в управлении, при этом обладает недюжинной мощностью и выносливостью. Он выдерживает нагрузки достойно, работая в любом режиме. Применим в частных и коммунальных предприятиях, в собственных хозяйствах для обработки почвы, посадочных работ, сборе урожая, очистке от снега и прочих нужд.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предметом изучения является деталь «полумуфта» входящая в узел муфта сцепления изделия Мотоблок МБ-8.

Многодисковая постоянно замкнутая муфта сцепления предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к трансмиссии и кратковременного отсоединения двигателя от трансмиссии.

Цель проекта: разработать технологический процесс изготовления детали, позволяющий повысить производительность труда и снизить себестоимость изготовления за счет изменения способа получения заготовки, применения современного оборудования и специальной технологической оснастки.

Для реализации заданной цели необходимо проанализировать изделие, изготавливаемую деталь и базовый технологический процесс, чтобы определить его сильные и слабые стороны. После этого, идет разработка рационального технологического процесса, с использованием новых методов получения заготовок, современного технологического оборудования с числовым программным управлением, проектирование специального приспособления для повышения производительности, выбор современной технологической оснастки и нового режущего инструмента.

2. Основная часть

Для изготовления технологических процессов широко применяется универсальное оборудование, стандартная оснастка и инструменты. Мы также использовали универсальное оборудование для создания базового технологического процесса. В рациональном технологическом процессе мы же использовали синтез современных технологий, чтобы в свою очередь взять сильные стороны с базового технологического процесса, и добавить новые решения и возможности благодаря современным и передовым станкам с ЧПУ и специальной технологической оснастки на необходимых металлообрабатывающих операциях.

Деталь – «полумуфта» (рис. 1), представляет собой тело вращения типа втулки с концентрическим расположением поверхностей.

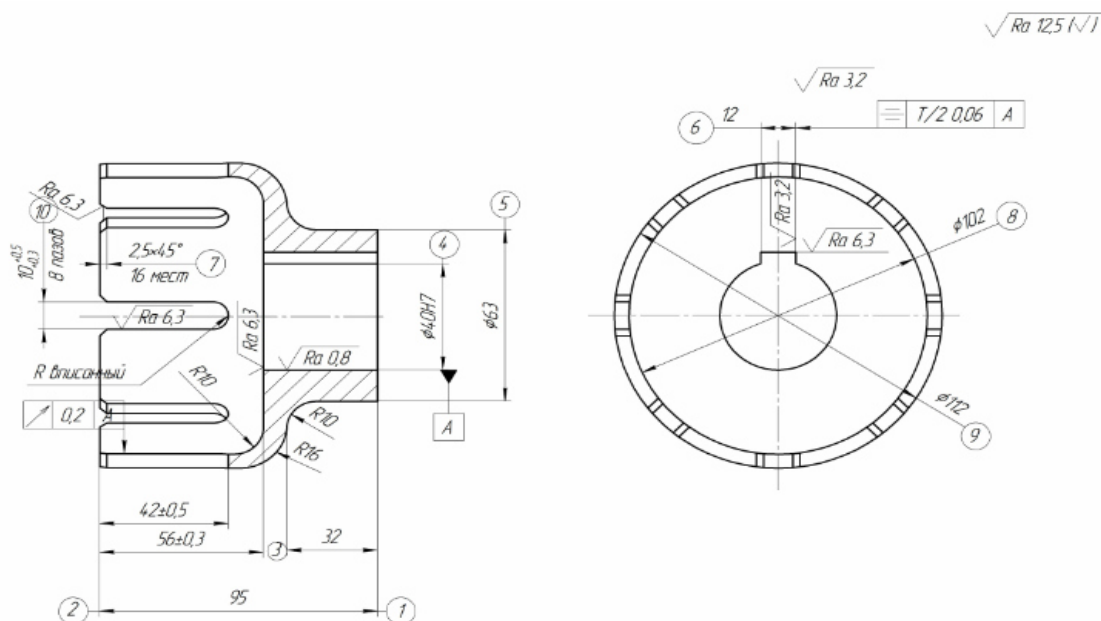


Рис. 1. Чертеж детали

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

При изготовлении рационального технологического процесса нужно быть осторожными, так как появляется большой соблазн изготавливать все необходимые операции на станках ЧПУ и со специальной технологической оснасткой, что в свою очередь существенно облегчит изготовление необходимых деталей, но с другой стороны очень повысит экономические затраты на необходимое оборудование и изготовление специальной технологической оснастки. Поэтому при изготовлении рационального технологического процесса нужно исходить не только из применения современных технологий, но и из реалий данного предприятия, на котором собственно и будет изготавливаться данная деталь.

Базовый технологический процесс проектировали с учетом особенностей универсального оборудования, т.е. настраивали каждый станок на выполнение отдельного перехода, что существенно увеличивало станочный парк, цикл обработки станок становится дольше, за счет увеличения вспомогательного времени и времени транспортирования и повышалась себестоимость изготовления детали.

Пример базового технологического процесса:

- 005 Токарно-винторезная (станок 16К25);
- 010 Токарно-винторезная черновая (станок 16К20);
- 015 Токарно-винторезная чистовая (станок 16К20);
- 020 Внутришлифовальная (Станок 3К227А);
- 025 Горизонтально-протяжная (Станок 7655);
- 030 Разметочная (8 пазов);
- 035 Горизонтально-фрезерная (станок бр82);
- 040 Термическая;
- 045 Внутришлифовальная (Станок 3К227А);
- 050 Круглошлифовальная (3А130);
- 055 Слесарная;
- 060 Моечная;
- 065 Контрольная;

Базовых технологический процесс состоял из 13 операций механической обработки.

Благодаря синтезу рационального технологического процесса удалось сократить количество операций, его создание было основано на принципах концентрации технологических переходов, совмещения технологических и конструкторских баз и применения станков с ЧПУ и специального технологического приспособления. В результате мы получили 11 операций:

- 005 Токарная с ЧПУ черновая (станок 16К20Ф3);
- 010 Токарная с ЧПУ черновая, чистовая (станок 16К20Ф3);
- 015 Токарная с ЧПУ черновая, чистовая (станок 16К20Ф3);
- 020 Внутришлифовальная (станок 3А227);
- 025 Горизонтально-протяжная (Станок 7655);
- 030 Горизонтально-фрезерная с ЧПУ (Станок 500Н);
- 035 Термообработка;
- 040 Внутришлифовальная (Станок 3К227А);
- 045 Круглошлифовальная (Станок 3А130);
- 050 Моечная;
- 055 Контрольная;

Кроме операций механической обработки был проанализирован метод получения заготовок. В базовом техпроцессе заготовки получают из проката. В целях повы-

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

шения производительности и с учетом особенностей материала, заготовки решили получать методом закрытых штамповок. Штамповка повторяет контур детали, что привело к уменьшению расхода материала в 3,6 раза, повышению точности обработки, уменьшению рабочего времени и снижению себестоимости производства детали.

Одним из аспектов повышения производительности – уменьшение времени на установку и закрепление заготовки. Для этого используются специальные приспособления, которые закрепляют заготовку на столе станка и базируют её с требуемой точностью, что повышает точность обработки. Специальное зажимное приспособление – комбинация простейших зажимных механизмов (рычажных, клино-плунжерных, цанговых и т.д.) в более сложные механизмы. Приспособления оснащают приводом, который осуществляет перемещение рабочих частей приспособления и закрепление заготовки. Приводы бывают механические (ручные), пневматические, гидравлические, электромеханические, магнитные и вакуумные.

В бакалаврской работе было разработано приспособление на горизонтально-фрезерную с ЧПУ операцию. В качестве зажимной части используется цанга (рис. 2).

Приспособление состоит из корпуса 1, в проточке которого установлена цанга 2. Цанга 2 крепится в корпусе благодаря винтам 12 с пружинными шайбами 13. На фланце цанги 2 расположены две пластины закреплённые с помощью винтов 14 с пружинными шайбами 15. Для деформации цанги служит конус 5, на котором расположен шестигранник 6, с помощью которого торцевой ключ 7 преобразует крутящий момент на рукояти 8 в поступательное движение конуса. Деталь 4 крепится и центрируется по внутренней цилиндрической поверхности с помощью цанги и упирается в торец благодаря пластинам, в детали предусмотрен шпоночный паз, правильное расположение которого мы контролируем с помощью шпонки 10 прикреплённой к цанге винтом 11. Для установки приспособления на столе станка, в корпусе 1, профрезерован паз, в который установлена шпонка 16. Шпонка 16 крепится к приспособления винтом 9.

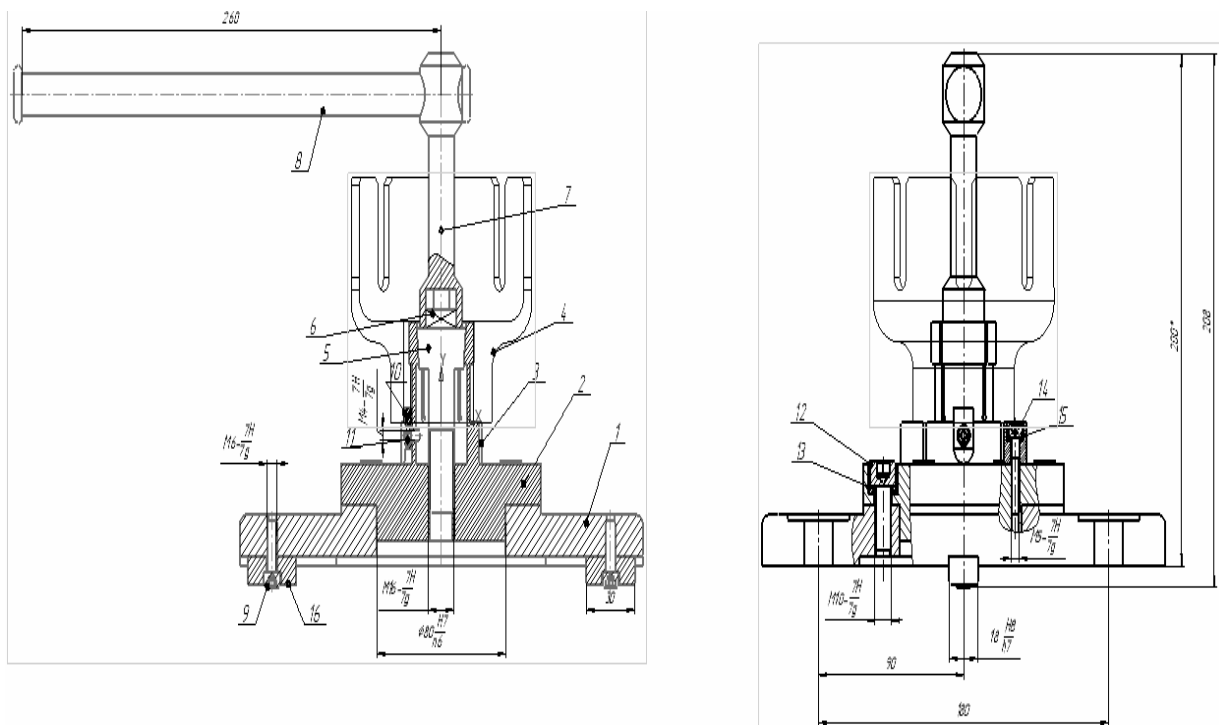


Рис.2. Приспособление для горизонтально-фрезерной с ЧПУ операции

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Для закрепления мы развиваем крутящий момент на рукояти и с помощью торцевого ключа который вращает шестигранник на конусе вращательное движение преобразуется в поступательное вследствие чего конус опускается вниз тем самым деформируя лепестки цанги. Под действием этого усилия они перемещаются в радиальном направлении, центрируют и закрепляют заготовку по внутренней цилиндрической поверхности. Для раскрепления нужно повернуть рукоять в обратную сторону до тех пор, пока конус не перестанет давить на лепестки цанги и они в свою очередь под действием упругих сил вернуться в первоначальное положение. Заготовка раскрепляется.

3. Заключение

Базовый технологический процесс обработки детали «Полумуфта», состоял из 13 операций механической обработки. С помощью синтеза рационального технологического процесса с использованием современных станков с ЧПУ, технологической оснастки и специального инструмента, удалось сократить количество операций до 11.

Используя прокат, в качестве метода получения заготовок, мы получаем заготовку массой 8,4 кг; при использовании штампованных заготовок, мы получаем заготовку массой 2,34 кг. При массе детали 1,3 кг, это уменьшает расход металла в 3,6 раза.

Для повышения производительности и точности изготовления детали «Полумуфта», было разработано специальное приспособление на горизонтально-фрезерную операцию с ЧПУ. Для закрепления заготовки используется цанга. Приспособление удовлетворяет условию погрешности закрепления и условию на прочность.

При проектировании участка, механосборочного цеха, использование станков с ЧПУ существенно позволяет сократить количество станков и соответственно уменьшить занимаемую площадь участка.

В результате создания рационального технологического процесса, и применения современных технологий и оборудования мы сокращаем себестоимость изготовления одной детали на 220 рублей.

Сравнивая базовый технологический процесс и рациональный технологический процесс, я делаю вывод, что срок окупаемости капитальных затрат на новую технику выше в 1,12 раз, а коэффициент эффективности затрат на новую технику выше 0,15, что подтверждает экономическую целесообразность и рациональность нового технологического процесса.

Список литературы: 1. Вардашкин, Б. Н. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т.1/ Б. Н. Вардашкин; под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984.– 592 с. 2. Вардашкина, Б. Н. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т.2/ Б. Н. Вардашкин; под ред. Б. Н. Вардашкина, В. В. Данилевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 656 с. 3. Вороненко, В. П. Проектирование машиностроительного производства: учебник для вузов / В. П. Вороненко, Ю. М. Соломенцев, А. Г. Схиртладзе; под ред. чл. корр. РАН Ю. М. Соломенцева. - Москва: Дрофа, 2006. – 380 с. 4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1. / под ред. А. Г.Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. –656 с. 5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.2 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 6. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник.- М.: Машиностроение, 1990.- 512 с. 7. Станочные приспособления. Справочник. В 2-х т. /Ред. Совет: В.Н. Вардашкин (пред.) и др. – М.: Машиностроение 1984. – Т.1 /Под ред. Б.П Бардашкина, А.А. Шатилова, 1984. – 583 с. – Т.2 /Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского, 1984 – 556с.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ ЛЕБЕДКИ HW-AB 1000

Пилякин Г.П., Лахин А.М. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (071) 4267348; E-mail: pilyakin1997@mail.com

Аннотация. В статье приведены данные по особенностям обработки вала ленточного конвейера 1Л1000А. Автором было проанализировано конструкция детали и ее назначение. Выполнены расчеты для определения размеров и типа получаемой заготовки. Разработан маршрутный технологический процесс обработки детали, выбрано основное технологическое оборудование. Выполнен расчет режимов резания и спроектировано специальное приспособления на выбранную технологическую операцию. Спроектирован механически участок по изготовлению вала, обоснованы факторы экономической эффективности и учтены меры безопасности охраны труда при чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: вал, люнет, станок, процесс, обработка.

1. Введение

В настоящее время одно из ведущих мест в росте экономики государства занимает машиностроение, которое обеспечивает технический процесс всех областей народного хозяйства. Этот процесс характеризуется совершенствованием существующей технологии производства, улучшением конструкции машин и созданием совершенно новых технологий. Перед нами ставится задача, которую необходимо решить, а именно изготовить детали заданного качества, в нужном количестве при наименьших расходах материалов, минимальной себестоимости и высокой производительности.

Такое состояние предопределило рост объемов выпуска продукции в машиностроении. Необходимо обеспечить внедрение в производство новой, конкурентно способной продукции основанной на применении современных технологий, благодаря чему можно успешно говорить о повышении производительности труда в машиностроительных отраслях.

В машиностроение входит огромное количество отраслей, например такие области, как энергетическое, станкостроительное, транспортное, сельскохозяйственное машиностроение, производство инструментов и приборов, технологического оборудования для разных областей промышленности (химической, легкой, полиграфической, строительной и т.д.).

При выполнении работы были поставлена цель и задачи исследования.

Цель: Повысить производительность труда и снизить себестоимость изготовления вала ленточного конвейера 1Л1000А за счет применения современного оборудования и специальной технологической оснастки путем разработки прогрессивного технологического процесса.

2.Основное содержание и результаты работы

Ленточные конвейеры 1Л1000А (рис. 1.1) - применяется в качестве внутривозовского транспорта, подземных и открытых горных работ, а так же на складах и фабриках. Ленточный конвейер состоит из ленты шириной 1000мм, роликкоопор, приводных барабанов, привода (включающего редуктор и электродвигатель или мотор-барабан) и натяжного устройства.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Принцип работы ленточного конвейера. Лента с лежащим на ней грузом, перемещается по стационарным роликоопорам, одновременно является грузонесущим и тяговым органом. Относительно ленты груз неподвижен, но при проходе по верхним роликоопорам встряхивается.



Рис. 1. Ленточный конвейер 1Л1000А

Обработка «нежестких» валов

Обработка точных, «нежестких» валов представляет собой процесс весьма сложный и трудоемкий, поэтому вопросы повышения эффективности обработки таких валов особенно актуальны. Анализ конструкторско-технологических характеристик большого числа деталей типа «вал» показал, что в изделиях различного назначения применяют ступенчатые, гладкие, фланцевые и другие валы. Особую сложность при изготовлении имеют относительно длинные, «нежесткие» валы. Выбор структуры операций зависят от программы выпуска, конфигурации элементарных обрабатываемых поверхностей и относительной длины, определяющих жесткость валов. Проведенный анализ технических требований, предъявляемых к деталям типа «вал» показал, что при разработке технологии изготовления, как правило, требуется выдержать высокие требования к точности размеров, шероховатости, отклонениям формы и непрямолинейности поверхностей. Возникающие погрешности обработки «нежестких» валов связаны не только с процессом механической обработки, определенным состоянием технологической системы, но и с погрешностями, возникающими на предшествующих операциях.

Обработке валов посвящено достаточно большое количество работ, однако в них не учтены особенности проектирования технологических процессов обработки «нежестких» валов на станках с ЧПУ в условиях среднесерийного производства. В них

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

не учтено влияние конструкторско-технологических характеристик деталей одной технологической общности на структуру операций при разработке расчетно-технологических карт, выборе схем обработки и технологического процесса в целом.

Обработка «нежестких» валов представляет большие трудности, связанные с нежесткостью заготовки, что требует специальной оснастки, выбора режимов резания, снижающих влияние упругих деформаций на точность обработки.

Проектирование токарных операций обработки «нежестких» валов требует исследования факторов, определяющих формирование и выбор структуры технологической операции, критериев оценки, выбора схем и режимов обработки. С этой целью были исследованы схемы обработки «нежестких» валов с различной относительной длиной $l/d > 10$, точностью изготовления JT6-7, Ra 1,25...0,8. Включение «нежестких» валов в номенклатуру приводит к необходимости ограничения технологических возможностей станков с ЧПУ и необходимости изменения выбранной схемы обработки путем переналадки технологической системы.

Приспособления для обработки «нежестких» валов в станках с ЧПУ

Подвижный люнет устанавливается на токарном станке как с ЧПУ так и на обычных токарных станках. На токарном станке присутствует продольный суппорт, на который закрепляются люнеты. Благодаря этому движение резцов с дополнительной деталью происходит одновременно. Это позволяет проводить более равномерную обработку. Режущий инструмент не заклинивает, сохраняет свою целостность длительный промежуток времени.



Рис. 2. Люнет подвижный

Преимущество использования люнета:

- Увеличивается точность проводимой обработки.
- Сокращается количество бракованных деталей.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- Повышается безопасность рабочего процесса.
- Надежность, долговечность, простота конструкции, ее настройка.
- Упрощается работа для оператора.

Токарная обработка нежестких валов с переменной подачей на станках с ЧПУ

Для обеспечения точности токарной обработки традиционно применяют приспособления (люнеты) или специальное оборудование, например, автоматы продольного точения. Однако на предприятиях в настоящее время стараются все чаще и шире использовать станки с ЧПУ. Использование люнетов для обеспечения точности противоречит принципам работы на станках с ЧПУ: стремлению к максимальной концентрации переходов в пределах одной операции на одном станке и за один установ, а также к уменьшению необходимости вмешательства рабочего в цикл обработки. Управление точностью без использования специальных приспособлений или оборудования уже давно реализуется в виде разработки различного рода адаптивных систем. При таком подходе собирается установка, состоящая из системы силоизмерительных или других датчиков, компьютера или специального устройства для обработки данных и программного обеспечения. В общем случае в процессе резания на компьютер поступает информация об изменениях величины силы резания. С помощью программного обеспечения происходит перерасчет режимов резания (подачи S и скорости резания V), после чего посылается соответствующая команда в управляющий блок станка.



Рис. 3. Канавки от «выстоя» резца на поверхности вала

Существенным недостатком является возникновение дефектов поверхности (канавок от «выстоя» резца).

Указанные проблемы могут быть решены различными способами.

Варианты решения:

а) Использование функции G05 «отсутствия торможения в конце кадра» в управляющей программе. Применимость и результат работы данной функции

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

необходимо проверить экспериментально, поскольку это не является ее прямым назначением.

б) Модернизация существующего оборудования: оснащение станков с ЧПУ функцией бесступенчатого регулирования подачи (по заданному закону). Вполне осуществимо путем встраивания в станок устройства на базе микроконтроллера, управляемого с компьютера, которое будет плавно изменять обороты двигателя продольной подачи.

Кроме всего прочего, при изменении подачи в процессе обработки изменяется и шероховатость поверхности. Если рассматривать геометрический аспект, то уменьшение подачи лишь улучшит качество поверхности, однако на величину подачи существенно влияют вибрации, более твердые включения в материале заготовки, износ режущего инструмента и многое другое.

3. Выводы.

Таким образом, разработанный подход к обеспечению точности токарной обработки нежестких валов на станках с ЧПУ может быть реализован на практике в различных вариантах, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Эти (и альтернативные) варианты могут быть улучшены (предложены) на конструктивном уровне, что является уже вопросом конкретных конструкторских разработок, а не научной проблемой. Целями и задачами дальнейшего исследования можно считать различного рода экспериментальные проверки подсистемы для различного сочетания материалов инструмента и заготовки, контроль точности, шероховатости, колебаний в величине R_u в процессе обработки.

Список литературы: 1. Балакшин Б. С. Необходимость оборудования программных станков системами адаптивного управления / Б.С. Балакшин // Станки и инструмент. – 1973. – №3. – С. 4-6. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М : Машиностроение, 1985. – 656 с. 3. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ : монография / А. Л. Плотников, А. О. Таубе; ВолгГТУ. – Волгоград : Волгогр. науч. изд-во, 2003. – 184 с. 4. Плотников, А.Л. Approach to ensure the required accuracy non-rigid shaft turning on numerical controlled machines / Плотников А.Л., Чигиринский Ю.Л., Жданов А.А. // Scientific Enquiry in the Contemporary World: Theoretical Basics and Innovative Approach : research articles. Vol. 4. Technical Sciences / ed. by A. Burkov. – Titusville (FL, USA), 2012. – P. 6-9. 5. Способы регулирования точности при обработке нежестких валов на токарных станках с ЧПУ / Плотников А.Л., Чигиринский Ю.Л., Шмаров А.А., Ключков Д.С. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 39-43. 6. Плотников, А.Л. Проблемы обеспечения расчетной точности токарной обработки в САПР ТП и методы их решения / Плотников А.Л., Мустафаев Э.И., Шмаров А.А. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 7 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 13. - С. 87-90.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ
НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Сайков И.С., Байков А.В. (гр. ИТМзм-18, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В работе рассматриваются методы, позволяющие минимизировать погрешности формы при токарной обработке нежестких валов.

Ключевые слова: нежесткий вал, обработка на токарном станке, геометрическая точность.

Введение

Нежесткими валами называются детали типа тел вращения, длина которых превышает их диаметр в 12 и более раз. Нежесткие валы широко используются в конструкции привода обогатительных грохотов, шахтных вентиляторов, в гидроподъемниках строительных и дорожных машин, валках листопрокатных станов и др.

Переход предприятий на использование станков с ЧПУ исключило возможность традиционного применения люнетов при точении, а снижение погрешности обработки обеспечивается путем занижения режимов резания и введением дополнительной операции (шлифование). Результатом станет увеличение себестоимости изделий. Поскольку изготовление нежестких валов ведется на многих предприятиях машиностроительного профиля, то выявление эффективных путей повышения точности при их токарной обработке на станках с ЧПУ является актуальной научной проблемой.

Основная часть

К рабочим поверхностям валов, которые относятся к категории «нежестких» предъявляются высокие требования по точности обработки, а именно, размерная точность в пределах 6...7 качества, отклонение от цилиндричности для валов нормальной, повышенной и высокой относительной геометрической точности составляют соответственно 30, 20 и 12% допуска размера [1].

На точность обработки одновременно оказывают влияние множество факторов.

Среди факторов, влияющих на погрешности формы нежестких деталей типа «вал», отдельно следует отметить деформацию (прогиб) заготовки под действием радиальной составляющей силы резания R_r (или стрелу прогиба). Стрела прогиба определяется координатами приложения радиальной составляющей силы резания R_r , её расчётными значениями, модулем нормальной упругости обрабатываемой стали, геометрическими параметрами и схемой закрепления заготовки.

В настоящее время используют различные методы повышения точности обработки нежестких деталей [2]:

1. Увеличение жесткости узлов и деталей станков и приспособлений. Разработка и использование специального оборудования. Однако при работе на станках с ЧПУ применение традиционных схем закрепления нежестких деталей с использованием люнетов является нежелательным, поскольку увеличивает число переустановок заготовки, а также вспомогательное время, повышает частоту вмешательства рабочего в цикл обработки. Помимо всего прочего, это может привести к возникновению дополнительных погрешностей, связанных с несовпадением осей базирующих элементов и отклонениями формы и взаимного расположения базовых поверхностей.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

2. Разработка адаптивных систем управления точностью. Адаптивное управление токарной обработкой нежестких деталей производится за счет изменения режимов обработки, жесткости элементов технологической системы, а также положения инструмента относительно заготовки. Корректировки осуществляются по одному или нескольким контурам управления на основе сигналов датчиков. В целом их использование приводит к увеличению точности токарной обработки в 6-8 и более раз по сравнению с традиционной обработкой. Основным недостатком использования адаптивных систем управления точностью является сложность их применения в условиях реального производства. Для использования адаптивной системы на конкретном оборудовании требуется выполнение многих условий: – установка и подключение ряда датчиков и преобразователей; – преобразование кинематических цепей механизмов управления положением режущего инструмента или упругими перемещениями звеньев технологической системы; – установка специального программного обеспечения и/или оборудования; – достаточно высокая квалификация рабочего персонала

3. Разработка специального или модернизацией существующего оборудования с учетом специфики обработки нежестких деталей. Например, в [3] авторы предлагают схему обработки, при которой продольная подача осуществляется за счет вытягивания детали через заднюю бабку станка, а резец устанавливается в наиболее жесткой точке – вблизи трехкулачкового самоцентрирующегося патрона передней бабки станка.

4. В работе [4] авторы предлагают использовать специальное устройство, прикладываемое к заготовке растягивающее усилие, за счет чего компенсируются отжатия под действием радиальной составляющей силы резания. Применение подобного оборудования зачастую оправдано только при больших объемах производства однотипной продукции, т.е. для среднесерийного производства и выше.

5. Разработка надежных моделей расчета точности обработки

Технологические возможности металлорежущих станков с ЧПУ позволяют на этапе проектирования технологического процесса и разработке расчетно-технологических карт, учитывать погрешности от упругих деформаций путем коррекции положения режущего инструмента. На этих этапах необходимо использовать информацию о размерных связях в технологической системе и их изменение под влиянием факторов, проявляющихся при обработке

Прогнозируемая погрешность компенсируется за счёт изменения траектории перемещения режущего инструмента путём корректировки управляющей программы станка с ЧПУ.

Список литературы: 1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с. **2.** Жданов А.А. Обеспечение точности расчета стрелы прогиба нежестких деталей типа «вал» при токарной обработке на станках с ЧПУ на основании получения оперативной информации о свойствах контактных пар: дис... канд. техн. Наук: 05.02.07 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки / Жданов А.А. - Волгоград, 2019. -155 с. **3.** Świć, A., Wołos, D., Zubrzycki, J., Opielak, M., Gola, A., & Taranenko, V. (2014). Accuracy control in the machining of low rigidity shafts doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.613.357. **4.** Петухов Г. С. Способ обработки нежестких деталей // Г.С. Петухов и др. // Патент РФ №2012436. 1992. Бюл. №35-2001.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, СИСТЕМ ЧПУ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ПРИ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Харитонов О.Ю., Михайлов А.Н. (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Телефон: +380713652502; Email: decanat@fimm.donntu.org

Аннотация. В статье приведены данные о повышении эффективности производства, путем внедрения в технологический процесс современных технологий на примере бакалаврской работы на тему «Спроектировать механический участок по производству деталей редуктора средних типоразмеров в условиях ГП «Донецк ГОРМАШ». Бакалаврская работа анализирует базовый технологический процесс, в котором используется универсальное оборудование и на основании полученных данных предлагается принципиально новый, рациональный технологический процесс с использованием станков с ЧПУ, специального инструмента и приспособлений. Сравниваются данные экономических показателей базового и нового технологических процессов.

Ключевые слова: технологический процесс, базирование, нормирование, штамповка, припуск, допуск.

1. Введение

Одно из ведущих мест в росте экономики страны принадлежит машиностроению, которое обеспечивает материальную основу технического процесса всех областей народного хозяйства. Технический процесс в машиностроении характеризуется как улучшением конструкции машин, так и непрерывным совершенствованием технологии их производства. Основная задача – изготовить машину заданного качества в нужном количестве при наименьших расходах материалов, минимальной себестоимости и высокой производительности.

Машиностроение объединяет больше 70 областей, например такие области, как энергетическое, станкостроительное, транспортное, сельскохозяйственное машиностроение, производство инструментов и приборов, технологического оборудования для разных областей промышленности (химической, легкой, полиграфической, строительной и т.д.).

Машиностроение является одной из базовых отраслей машиностроения Донецка. Большинство предприятий машиностроительного комплекса Донбасса направлено на создание и изготовление этой техники. Качество и себестоимость ее изготовления существенно будут влиять на объем добычи и себестоимость угля.

В связи с этим важной задачей инженера-технолога является разработка рациональных и экономически целесообразных технологических процессов изготовления элементов машин с учётом прогрессивных технологий, приспособленных к условиям конкретного предприятия, которые обеспечат высокую производительность производства продукции при ее наименьшей себестоимости.

Предметом изучения является деталь «крышка» коническо-цилиндрического трехступенчатого редуктора КЦ2-500.

Цель проекта: разработать технологический процесс изготовления детали, позволяющий повысить производительность труда и снизить себестоимость изготовления за счет изменения способа получения заготовки, применения современного оборудования и специальной технологической оснастки.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Для реализации заданной цели необходимо проанализировать изделие, изготавливаемую деталь и базовый технологический процесс, чтобы определить его сильные и слабые стороны. После этого, идет разработка рационального технологического процесса, с использованием новых методов получения заготовок, современного технологического оборудования с числовым программным управлением, проектирование специального приспособления для повышения производительности, выбор современной технологической оснастки и нового режущего инструмента.

2. Основная часть

Для начала разберем изделие, в которое входит изучаемая деталь – редуктор коническо-цилиндрический трехступенчатый КЦ2-500. Он предназначен для использования в изделиях подъемно-транспортного оборудования, а также для ремонтно-эксплуатационных нужд действующего оборудования.

Трехступенчатый редуктор типа КЦ2 состоит из пары конических колес со спиральным зубом (быстроходная ступень) и двух пар цилиндрических косозубых колес. Валы редуктора установлены на подшипниках качения, смонтированных в чугунном корпусе. Корпус имеет разъем в горизонтальной плоскости.

Предназначен для эксплуатации в микроклиматических районах с умеренным (У), а также сухим и влажным тропическим (Т) климатом и категории размещения 2 по ГОСТ 15150 в следующих условиях: нагрузка постоянная или переменная, одного направления и реверсивная; работа постоянная с периодическими остановками; вращение валов в любую сторону. Редуктор серии КЦ рассчитан на непрерывный продолжительный режим работы при 600, 1000, 1500 оборотов в минуту входного вала. При работе с другими числами оборотов мощность редуктора находится путем интерполяции.

Деталь «крышка» (рис. 1), входит в состав редуктора и предназначена для защиты элементов редуктора от загрязнения и механических повреждений. От точности изготовления крышек, зависит долговечность редуктора.

Базовый технологический процесс проектировали с учетом особенностей универсального оборудования, т.е. настраивали каждый станок на выполнение отдельного перехода, что существенно увеличивало станочный парк, цикл обработки становится дольше, за счет увеличения вспомогательного времени и времени транспортирования и повышалась себестоимость изготовления детали.

Пример базового технологического процесса:

- 005 Токарно-винторезная (станок 16К20);
- 010 Токарно-револьверная черновая, наружные поверхности (станок 1К62);
- 015 Токарно-револьверная чистовая, наружные поверхности (станок 1К62);
- 020 Токарно-револьверная черновая, внутренние поверхности (станок 1К62);
- 025 Токарно-револьверная чистовая, внутренние поверхности (станок 1К62);
- 030 Разметочная (разметка отверстий $\phi 7$ и $\phi 12$);
- 035 Радиально-сверлильная (станок 2М55);
- 040 Разметочная (разметка лыски);
- 045 Вертикально-фрезерная (станок 6Р33);
- 050 Разметочная (разметка паза $\phi 20$);
- 055 Вертикально-фрезерная (станок 6Р33);
- 060 Разметочная (разметка паза);
- 065 Вертикально-фрезерная (станок 6Р33);
- 070 Внутришлифовальная (станок 3А227).

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Базовых технологический процесс состоял из 14 операций механической обработки.

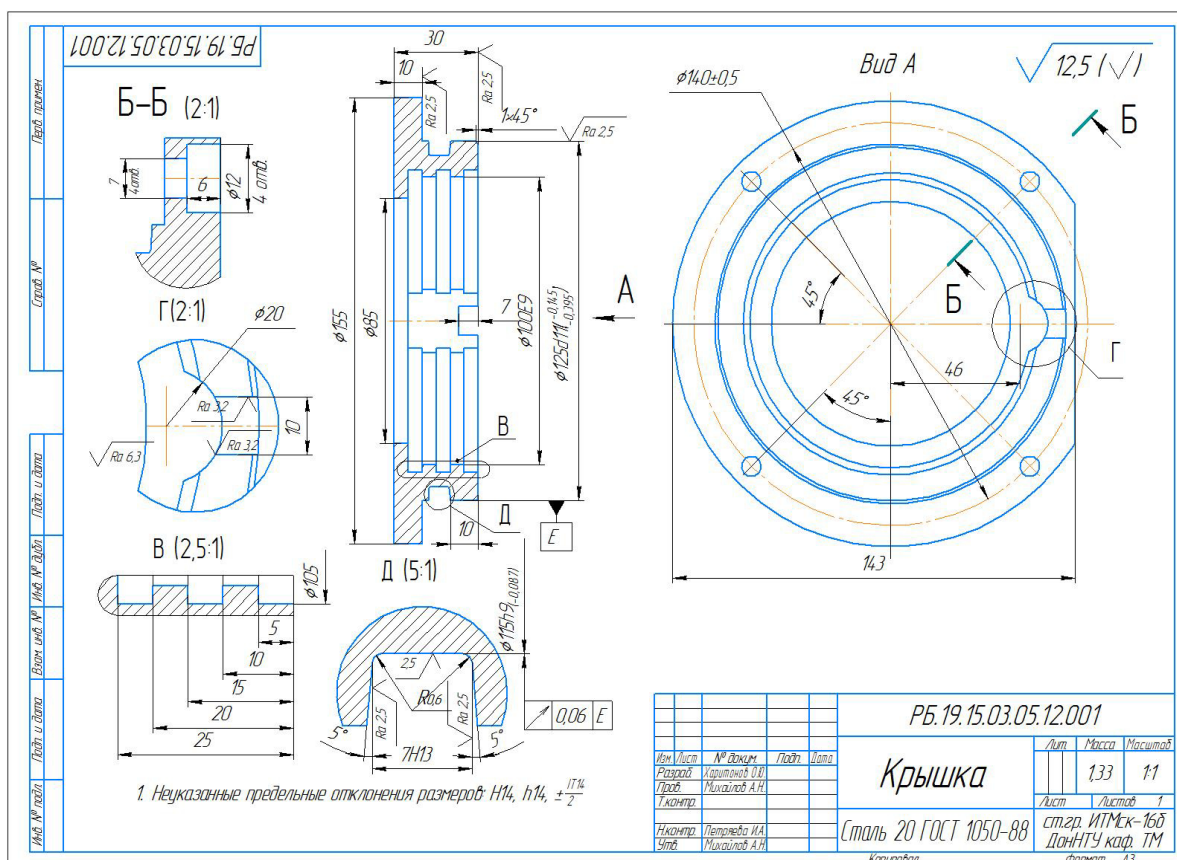


Рис. 1. Чертеж детали

Используя принципы концентрации и совмещения баз, станки с ЧПУ, специальные приспособления, режущий и мерительный инструмент, удалось сократить технологический процесс до 5 операций механической обработки:

- 005 – Токарная с ЧПУ черновая (станок 16К20Ф3);
- 010 – Токарная с ЧПУ черновая, чистовая (станок 16К20Ф3);
- 015 – Вертикально-фрезерная с ЧПУ (станок 6Р13Ф3);
- 020 – Вертикально-фрезерная с ЧПУ (станок 6Р13Ф3);
- 025 – Внутришлифовальная (станок 3А227).

Сокращение операций удалось добиться за счет того, что за один установ:

- на токарном станке можно обработать торец, наружную и внутреннюю цилиндрические поверхности, наружные и внутренние канавки;

- на вертикально-фрезерном станке можно обработать отверстия, лыски и пазы;

Обработка нескольких поверхностей за один установ повышает точность получаемой детали.

Кроме операций механической обработки был проанализирован метод получения заготовок. В базовом техпроцессе заготовки получают из проката. В целях повышения производительности и с учетом особенностей материала, заготовки решили получать методом закрытых штамповок. Штамповка повторяет контур детали, что

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

привело к уменьшению расхода материала в 2,75 раза, повышению точности обработки, уменьшению рабочего времени и снижению себестоимости производства детали.

Одним из аспектов повышения производительности – уменьшение времени на установку и закрепление заготовки. Для этого используются специальные приспособления, которые закрепляют заготовку на столе станка и базируют её с требуемой точностью, что повышает точность обработки. Специальное зажимное приспособление – комбинация простейших зажимных механизмов (рычажных, клино-плунжерных, цанговых и т.д.) в более сложные механизмы. Приспособления оснащают приводом, который осуществляет перемещение рабочих частей приспособления и закрепление заготовки. Приводы бывают механические (ручные), пневматические, гидравлические, электромеханические, магнитные и вакуумные.

В бакалаврской работе было разработано приспособление на вертикально-фрезерную с ЧПУ операцию. В качестве зажимной части используется цанга, приводом служит пневмоцилиндр (рис. 2).

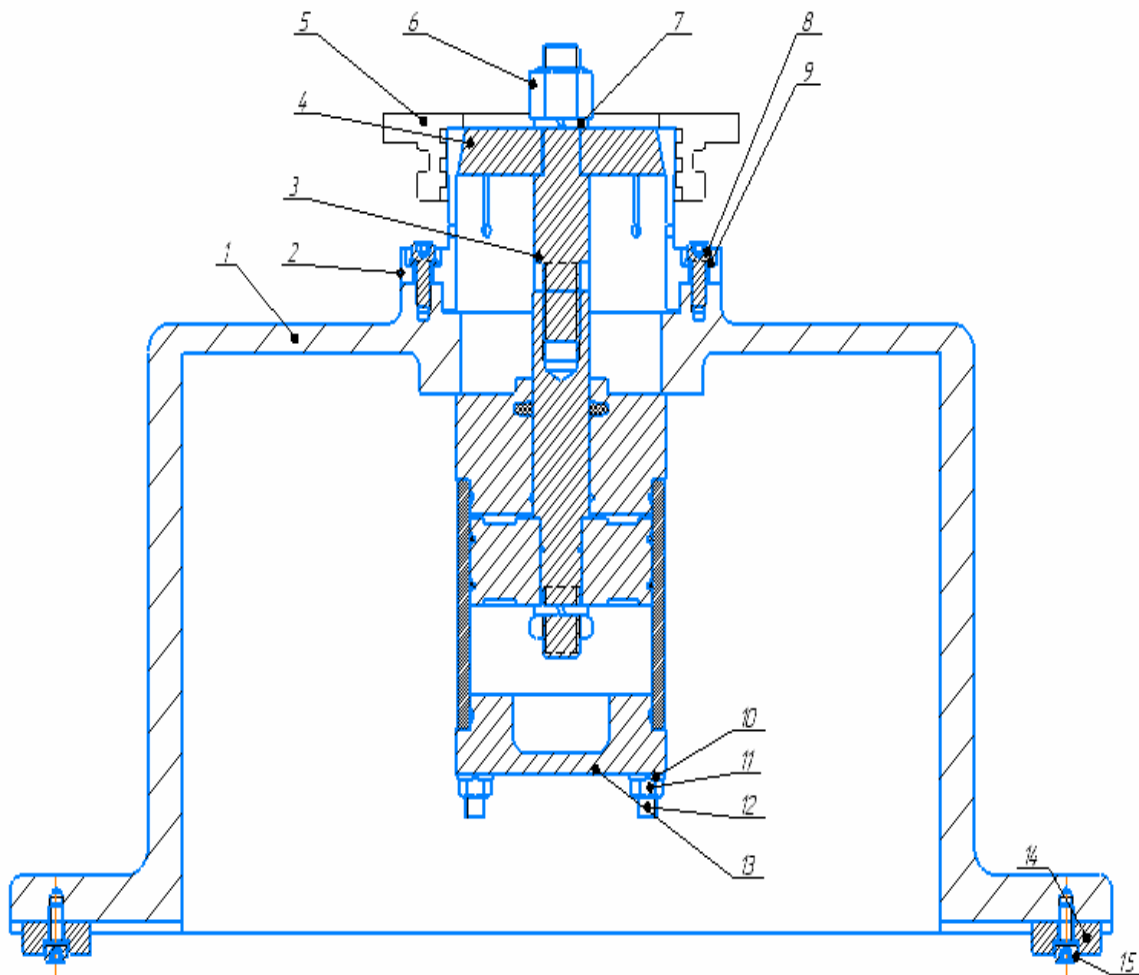


Рис. 2. Приспособление для вертикально-фрезерной с ЧПУ операции

Приспособление состоит из корпуса 1, в проточке которого установлена цанга 3. Цанга 3 крепится в корпусе 1 с помощью винтов 8 с пружинными шайбами 9. В

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

корпусе 1 стяжками 12, закреплен пневмоцилиндр 13. Шток гидроцилиндра с тягой 3 соединен с конусом 4, который закреплен на тяге гайкой 6 с пружинной шайбой 7. Коническая часть конуса 4 контактирует с лепестками цанги 3. Для подвода трубопроводов к пневмоцилиндру 13 на передней грани корпуса 1 выполнено окно. Приспособление имеет массу более 50 кг, поэтому для установки его на станок необходимо использовать подъемно-транспортное оборудование. Для строповки приспособления при транспортировке на верхней грани корпуса приспособления выполнены четыре резьбовые отверстия под рым-болты. Для установки приспособления на столе станка, в корпусе 1, профрезерован паз, в который установлена шпонка 14. Шпонка 14 крепится к приспособления винтом 15.

3. Вывод

Базовый технологический процесс обработки детали «Крышка», состоял из 14 операций механической обработки. Разработав рациональный технологический процесс с использованием современных станков с ЧПУ, приводной оснастки и специального инструмента, удалось сократить количество операций механической обработки с 14 до 5.

Используя прокат, в качестве метода получения заготовок, мы получаем заготовку массой 6,7 кг; при использовании штампованных заготовок, мы получаем заготовку массой 2,4 кг. При массе детали 1,33 кг, это уменьшает расход металла в 2,75 раза.

Для повышения производительности и точности изготовления детали «Крышка», было разработано специальное приспособление на вертикально-фрезерную операцию с ЧПУ. Для закрепления заготовки используется пневмоцилиндр. Приспособление удовлетворяет условию погрешности закрепления и условию на прочность.

При проектировании участка, механосборочного цеха, использование станков с ЧПУ существенно позволяет сократить количество станков и соответственно уменьшить занимаемую площадь участка.

Сравнивая базовый технологический процесс и рациональный технологический процесс, я делаю вывод, что срок окупаемости капитальных затрат на новую технику выше в 1,05 раз, а коэффициент эффективности затрат на новую технику выше 0,15, что подтверждает экономическую целесообразность и рациональность нового технологического процесса.

Список литературы: 1. Вардашкин, Б. Н. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т.1/ Б. Н. Вардашкин; под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – Москва: Машиностроение, 1984.– 592 с. 2. Вардашкина, Б. Н. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т.2/ Б. Н. Вардашкин; под ред. Б. Н. Вардашкина, В. В. Данилевского. – Москва: Машиностроение, 1984. – 656 с. 3. Вороненко, В. П. Проектирование машиностроительного производства: учебник для вузов / В. П. Вороненко, Ю. М. Соломенцев, А. Г. Схиртладзе; под ред. чл. корр. РАН Ю. М. Соломенцева. - Москва: Дрофа, 2006. – 380 с. 4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1. / под ред. А. Г.Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1986. –656 с. 5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.2 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. - Москва: Машиностроение, 1985. – 496 с.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ, СУЩНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ЛОПАТОК
ТУРБИН ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-
ОРИЕНТИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Измайлов И.А., Хавлин Т.В., Глухов С.В.

(ДАВД МВД ДНР, г. Донецк, ДНР)

Тел.: +38 (071)3212394; E-mail: strana.sovetov.80@mail.ru

Abstract: *In this work, the structuring of the technological process of finishing and hardening the surface treatment of turbine blades of gas turbine engines is carried out, and the physical basis and its defining features as components of the process are studied during the surface treatment of turbine blades of various power units.*

Keywords: *turbine blade, technological impact, universal process, functionally oriented coating, gas turbine engine*

Введение. Процесс создания перспективных газотурбинных двигателей (далее - ГТД) сочетающих в себе как традиционные свойства, так и новые, указывает технологам на необходимость создания и применения прогрессивных (специальных) технологий [1].

В связи с этим в данной работе будет выполнено изучение возможности применения функционально-ориентированной технологии (далее – ФОТ) [2] при создании структуры и определения сущности универсального процесса повышения ресурса лопаток турбин (далее – ЛТ) ГТД. Для чего обратим внимание на аспекты проблем повышения ресурса. Так, например, в [3] описываются множество повреждений деталей турбины из-за функциональных воздействий (термических, физических, химических и т.д.), а особенности разрушения возникают в следствии их неоднородности. Или, например, в [4] описывается подобная проблема повышения ресурса деталей, но в несколько других условиях эксплуатации. Так же стоит отметить позитивные результаты в изучении особенностей использования ФОТ при решении проблем улучшения структурно-технологических особенностей ГТД энергетической газотурбинной установки [5]. Несколько иная, в связи со сложившейся противоречивостью в необходимости применения ГТД на наземной технике, но это глобально, а конкретно схожая ситуация сложилась в необходимости повышении ресурса деталей турбины ГТД-1000Т (модификации), танка Т-80 [6, 7 и т.д.].

Из общей картины, описанного выше можно предположить, что решение кроется в придании универсальности процессу.

Цель данной работы – изучение структуры, сущности и возможности создания универсального процесса повышения ресурса ЛТ ГТД на базе ФОТ.

Для достижения поставленной цели в статье решается задача, связанная с изучением возможности создания универсальной структуры процесса функционально-ориентированной обработки ЛТ ГТД.

Основное содержание и результаты работы.

Объекты, рассматриваемые в нашей работе – это ЛТ обеспечивающие ряд целевых функций в турбинах боевых машин, летательных аппаратов, наземных энергетических установок и т.д. Особенности такого обеспечения обусловлены эксплуатационными условиями, исследования которых показывает, что структурные элементы ЛТ разрушаются (изнашиваются) в процессе эксплуатации неравномерно и в

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

процессе повышения ресурса такие особенности необходимо учитывать. Это возможно путём обеспечения функционально-ориентированных свойств посредством применения ФОТ и создания универсального процесса [8].

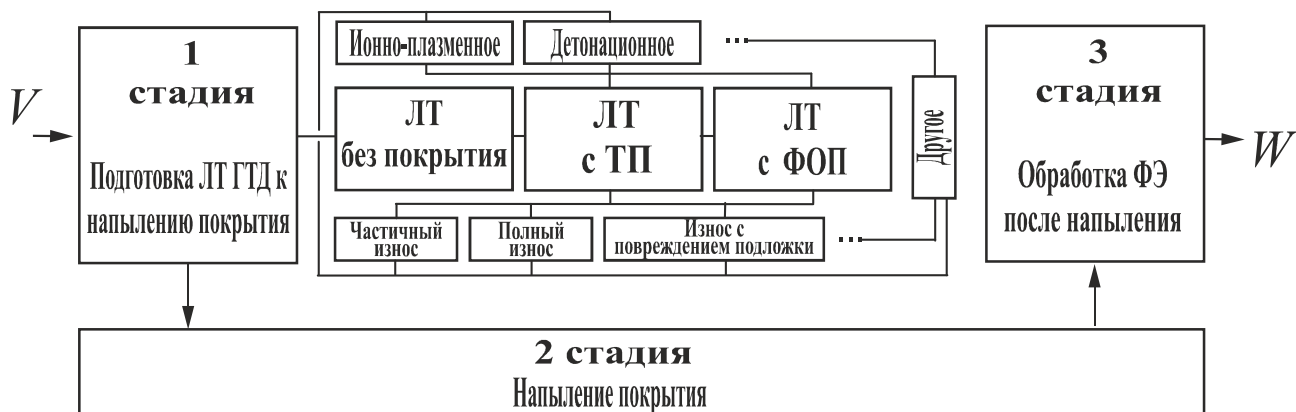


Рис. 1. Основные стадии структуры технологического процесса

Для чего будем использовать структуру операций процесса функционально-ориентированной обработки ЛТ ГТД показанную на рисунке 1, где: ЛТ – лопатка турбины; ТП – традиционное покрытие; ФЭ – функциональный элемент; V – входной поток ЛТ; W – выходной поток ЛТ; ФОП – функционально-ориентированное покрытие.

Например, первая стадия процесса может иметь вид, описанный в [9], с использованием защитного детонационного модуля, ионно-плазменного модуля (далее - Модуль) или др.

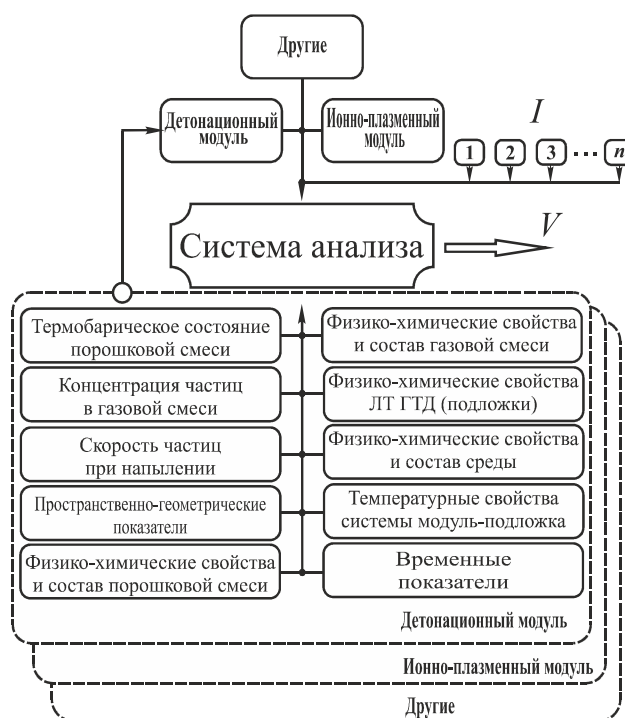


Рис. 2. Основные параметры, участвующие в функционально-ориентированной настройке процесса напыления

Одновременно, учитывая вышеуказанную структуру, при создании технологии следует обращать внимание на необходимость проведения аналитической работы и ориентирование процесса на полученные данные. Настройка параметров процесса напыления, может иметь следующий вид, рисунок 2. Данная схема даст высокую вероятность улучшить функционально-ориентированное структурно-технологическое обеспечение[10].

На рисунке 2 указаны основные параметры, участвующие в функционально-ориентированной настройке процесса напыления, где:

1, 2, 3, ..., n – информационные блоки общей системы знаний о существующих потребностях и возможностях;

I – входной поток информации;

V – выходной поток изделий;

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

термобарическое состояние порошковой смеси (например, ориентирует технолога на изучение агрегатного состояния порошка при создании технологического процесса и его реализации, какое состояние необходимо придать частицам жидкое, твёрдое, смешанное при напылении слоёв модуля и т.д.);

концентрация частиц в газовой смеси (например, ориентируют технолога на особенности создания модулей покрытий, представляющих объёмы, обеспечения зональных свойств, создание оптимальных условий при напылении последующих слоёв в модуле, и т.д.);

скорость частиц в газовой смеси (например, ориентирует технолога на возможность дробления частиц, влияние пограничного слоя на скорость частиц и т.д.);



Рис. 3. Основные параметры, участвующие в функционально-ориентированном проектировании ФОП

пространственно-геометрические показатели (например, ориентируют технолога на базирование детали, учитывая форму двухфазного газового потока и т.д.);

физико-химические свойства и состав порошковой смеси (например, ориентируют технолога на достижения прочности сцепления, текстуры покрытия, переходной зоны и т.д.);

физико-химические свойства и состав газовой смеси (например, ориентируют технолога на выполнение ориентированных расчётов для правильного

стехиометрического соотношения газов в зависимости от напыляемого материала);

физико-химические свойства подложки (ориентирование технолога на адгезию материалов покрытия и подложки, способы активации поверхности, отделочно-упрочняющая предварительная обработка);

физико-химические свойства и состав среды (учёт вязкости газов и т.д.);

температурные свойства системы модуль – подложка (расширение, инварность и т.д.);

временные показатели (время выполнения процесса напыления и т.д.).

Аналогично на рисунке 3 показано составление проекта модуля или набора модулей, сориентированных на требуемые свойства изделия [2, 11]. А собрав воедино информационные блоки общей системы знаний о существующих потребностях и возможностях, объединив их с входными потоками материального M , энергетического E воздействия можно создать универсальный процесс, показанный на рисунке 4, где:

TB – технологические воздействия;

$M_{v(s,t,v)}, E_{v(s,t,v)}, I_{v(s,t,v)}$ – мощность множества материальных, энергетических и

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

информационных потоков ТВ;

TB_1 – кортеж ТВ материального, энергетического и информационного типа для какой-либо точки пространства ЛТ соплового аппарата;

TB_2, TB'_2 – кортежи ТВ материального, энергетического и информационного типа для какой-либо точки пространства ЛТ соплового аппарата и рабочего колеса одной ступени;

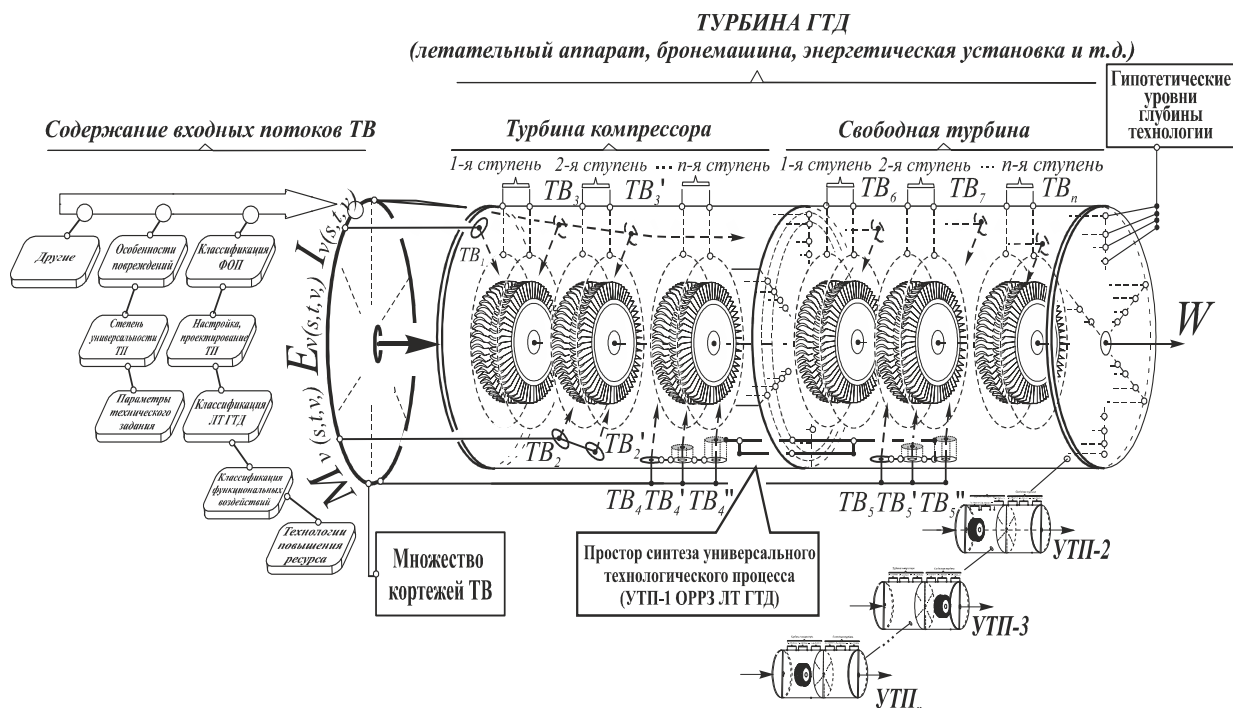


Рис. 4. Вариант схемы универсального процесса повышения ресурса ЛТ

TB_3, TB'_3 – кортежи ТВ материального, энергетического и информационного типа для какой-либо точки пространства ЛТ разных ступеней;

$TB_4, TB'_4, TB''_4, TB_5, TB'_5, TB''_5$ – кортежи ТВ материального, энергетического и информационного типа для какой-либо точки пространства ЛТ разных турбин с учётом уровней глубины технологии;

TB_6, TB_7, \dots, TB_n – другие варианты потоков материального, энергетического и информационного типа для какой-либо точки пространства ЛТ;

$УТП-2, УТП-3, \dots, УТП_n$ – множество вариантов универсальных технологических процессов;

W – выходной поток вариантов готовых изделий.

Вывод.

Таким образом, универсальность процесса может быть достигнута с помощью применения ФОТ и особых принципов ориентации ТВ [2], а сущность заключается в придании свойств, соответствующих действующим эксплуатационным функциям, изученным в аналитической работе специалистов.

Список литературы: 1. Хавлин, Т.В. Актуальность функционально-ориентированного подхода в повышении свойств изделий // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

XXI века - 2016». – Севастополь: ДонНТУ, 2016. Т. 2 . - С 149 - 150. 2. Михайлов, А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2009. - С 347. 3. Михайлов, А. Н. Особенности технологического процесса повышения ресурса лопаток турбины авиационных двигателя на базе функционально-ориентированной технологии / А.Н. Михайлов, Т.В. Хавлин // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». 2017. №1. – Донецк: ДонНТУ, 2017. 4. Михайлов, В.А. Повышение структурной надежности вертолетных газотурбинных двигателей / В.А. Михайлов, А.П. Пичко, Т.В. Хавлин, А.А. Колодяжный, Д.А. Михайлов, Е.А. Шейко, А. Гитуни, А.Н. Михайлов // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXV века - 2018». – Донецк: ДонНТУ, 2018. Т. 2 . - С 62 - 66. 5. Пичко, А.П. К определению структурной надежности газотурбинных установок нефтегазовой промышленности / А.П. Пичко, В.А. Михайлов, А.А. Колодяжный, Д.А. Михайлов, Е.А. Шейко, Т.В. Хавлин, А.Н. Михайлов // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». 2018. №2. – Донецк: ДонНТУ, 2018. - С 64 - 74. 6. <http://www.rpw.ru/kb3/3.html> 7. Вавилонский, Э.Б. Основной боевой танк России. Откровенный разговор о проблемах танкостроения / Э.Б. Вавилонский, О.А. Куракса, В.М. Неволин // ЗАО «Типография «РЕПРИНТ», г. Нижний Тагил, 2008. - С 173. 8. Михайлов, В.А. Общие основы и принципы повышения ресурса газотурбинных двигателей на базе функционально-ориентированного подхода / В.А. Михайлов, А.П. Пичко, А.В. Чугункин, Т.В. Хавлин, А.В. Лукичев, Д.А. Михайлов, А.Н. Михайлов// Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». 2017. №3. – Донецк: ДонНТУ, 2017. - С 32 - 43. 9. Хавлин, Т.В. Исследование особенностей разрушения лопаток турбин авиационных двигателей. / Т.В. Хавлин, А.Н. Михайлов, Д.А. Михайлов, А.П. Недашковский, В.В. Ткач, Е.С. Зиборов // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей технологии и виброволновых технологий (Электронный ресурс): сборник трудов международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., почётного профессора ДГТУ А.П. Бабичева (Ростов-на-Дону, 27-28 февраля 2018г.); Донской гос.техн. ун-т. –Электрон. Тестовые дан. . – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2018. – с.269 10. Бартенев, С.С. Детонационные покрытия в машиностроении. / С.С. Бартенев, Ю.П. Федько, А.И. Григоров – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд. - 1982. – с.215 с. ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Горобец И.А., Голубов Н.В., Харитонов О.Ю. (каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР)

***Аннотация:** Рассматриваются вопросы влияния режимов обработки на осевую силу резания при шлифовании заготовок из природного камня. Разработан план проведения экспериментальных исследований, выбраны оборудование, инструмент и средства измерения. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса шлифования гранита.*

***Ключевые слова:** заготовка, исследования, резание, мощность, диапазон, сила, результаты.*

Современное машиностроение развивается такими темпами, что технологии, общепринятые сегодня, завтра могут уже не удовлетворить запросам производства. Одним из путей выхода из этой ситуации есть поиск новых технических решений в области процессов обработки материала. Ответственные элементы приспособлений должны обеспечивать необходимую точность измерений в различных условиях эксплуатации на длительном времени работы. Новым решением этой проблемы является применение нетрадиционных материалов, в том числе неметаллических, для изготовления контрольно-измерительных приспособлений. Одним из таких материалов есть природный камень, в частности гранит.

Повышение производительности процесса шлифования, что может быть достигнуто за счет совершенствования технологического процесса шлифования.

Для выявления особенностей режимов резания на производительность процесса шлифования изделия из камня различными кругами была проведена серия экспериментов.

Целью экспериментальных исследований являлось выявление зависимостей режимов обработки на производительность обработки изделий из природного камня при обработке их шлифованием.

Задачи исследований:

1. Экспериментально определить взаимосвязь производительности и режимов резания при шлифовании.

3. Экспериментально определить влияние формы круга и режимов обработки на макрогеометрию обработанной поверхностей заготовки.

4. Определить влияние режимов обработки на осевую силу резания.

В соответствии с поставленными задачами в качестве контролируемых величин принимались:

Входные величины: режимы резания, характеризующиеся скоростью подачи V_n , усилием прижима инструмента P_o , припуском обработки Z . Выходная величина: величина съема материала h по поверхности заготовки.

В качестве заготовок при проведении экспериментальных исследований принят гранит Янцевского месторождения.

Для каждого образца заготовки и двух вариантов инструмента (базовый и модернизированный) проводился полный факторный эксперимент. Скорость шлифования принята равной 8,8 м/с (частота вращения инструмента $n = 1600$ об/мин).

Уровни варьирования факторов:

- подача, 400-630-800 мм/мин.

- глубина шлифования, 200-400-600-800-1000 мкм.

Измеряемым параметром являлась величина съема материала u , мкм, которая производилась в 25 точках поверхности с интервалом в 30 мм. По данным измерений определялась также и макрогеометрия обработанной поверхности.

В процессе шлифования осуществлялось два полных рабочих хода инструмента с продольной подачей и фиксировалась осевая сила P_o .

Экспериментальная установка состоит из основного технологического оборудования, измерительных приборов и оснастки, а также вспомогательных устройств [1]. Реализация торцевого плоского шлифования осуществлялась на модернизированном вертикально-фрезерном станке 6М13П. Модернизация станка заключалась в установке на конец шпинделя специальной головки для крепления торцевого шлифовального инструмента и подачи СОТС через центральное отверстие шлифовального круга. В качестве инструмента для шлифования гранита использовали круги алмазные шлифовальные АГШГ Д160 мм АС50 400/315 М6-14.50% ТУ 88 Украина 90. 513-81 производства ИСМ НАНУ.

В качестве измерительного средства использовался индикатор часового типа, [2]. Для проведения точных тензометрических исследований характера и величины динамически изменяющихся усилий шлифования использовался разработанный авторами специальный тензометрический стол, [3-4].

В качестве усилительного, преобразующего аналогово-цифрового и записывающего устройства использовались тензоусилитель ТА-5, аналогово-цифровой преобразователь Pico ADC-16 и персональный компьютер.

Экспериментальная установка состоит из основного технологического оборудования, измерительных приборов и оснастки, а также вспомогательных устройств, рис.1.



Рис. 1. Вид экспериментальной установки

В ходе эксперимента были получены данные величины съема слоя материала при различных подачах и величина осевой силы P_o (Рис.-5)

Результаты измерения осевой силы приведены в табл.1.

Таблица 1 Результаты измерения осевой силы

		Осевая сила, Н					
		Модернизированный круг, подача, мм/об			Базовый круг, подача, мм/об		
		400	630	800	400	630	800
Глубина резания, мкм	200	42,8	518,0	836,2	468,5	461,2	65,3
	400	51,0	255,8	837,3	547,1	757,1	318,0
	600	429,1	699,4	462,1	580,6	505,9	162,5

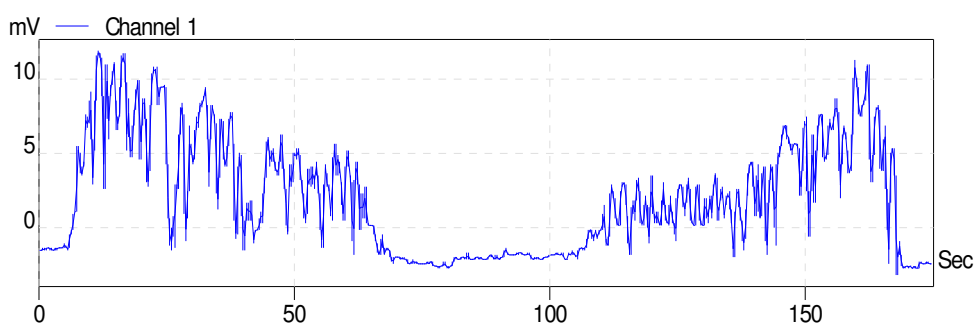


Рис.2. Осциллограмма изменения осевой силы P_y при обработке модернизированным кругом при режимах резания $S=400$ мм/мин, $t=400$ мкм

Анализ приведенных результатов показывает:

1. При шлифовании модернизированным кругом с изменением глубины резания и подачи в указанном выше диапазоне осевая составляющая силы резания изменяется в диапазоне 42,8-837,3 Н.

2. При шлифовании базовым кругом с изменением глубины резания и подачи в указанном выше диапазоне осевая составляющая силы резания изменяется в диапазоне 65,3-757,1 Н.

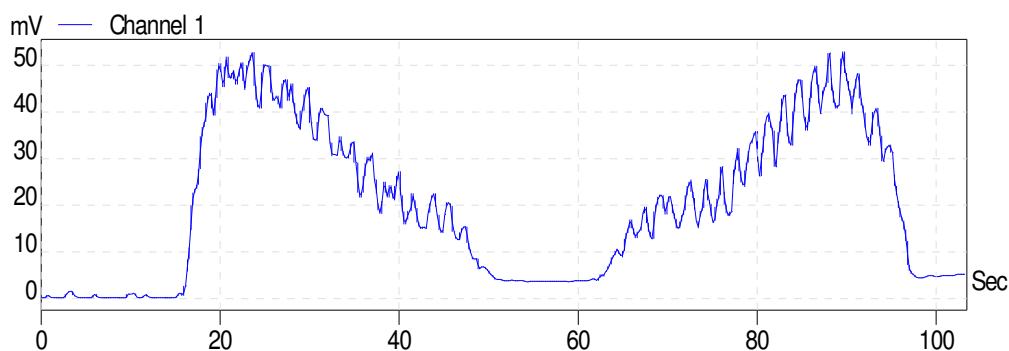


Рис.3. Осциллограмма изменения осевой силы P_o при обработке модернизированным кругом при режимах резания $S=800$ мм/мин, $t=600$ мкм

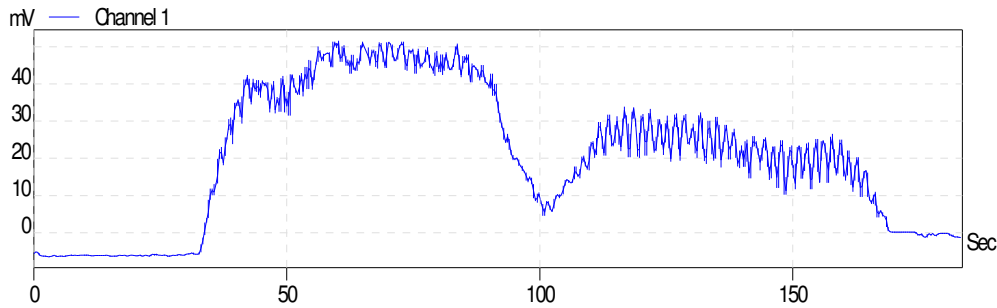


Рис.4. Осциллограмма изменения осевой силы P_y при обработке базовым кругом при режимах резания $S=400$ мм/мин, $t=400$ мкм

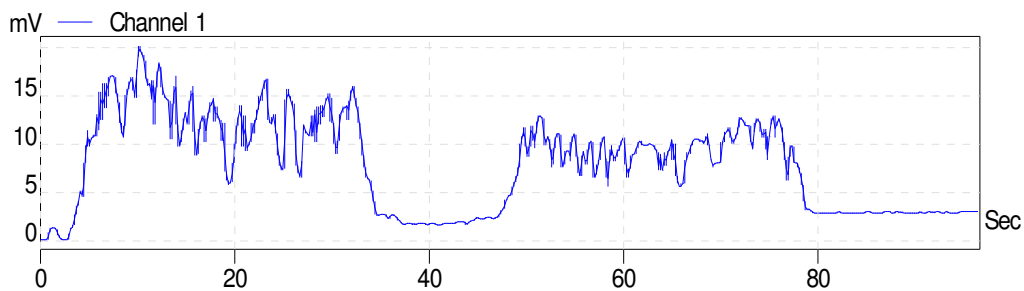


Рис.5. Осциллограмма изменения осевой силы P_o при обработке базовым кругом при режимах резания $S=800$ мм/мин, $t=600$ мкм

3. Максимального значения осевая сила при шлифовании модернизированным кругом достигает при подаче 800 мм/мин и глубине резания 0,4 мм, минимального – подаче 400 мм/мин и глубине резания 0,2 мм.

4. Максимального значения осевая сила при шлифовании базовым кругом достигает при подаче 630 мм/мин и глубине резания 0,4 мм, минимального – подаче 800 мм/мин и глубине резания 0,2 мм.

Значительные изменения сил резания возможно обусловлено перераспределением значений составляющих силы резания. Превалирование осевой силы над радиальной обуславливает возникновения нормальных напряжений, а не касательных, что может благоприятно сказываться на образовании микротрещин.

Список литературы: 1. Михайлов А.Н., Горобец И.А., Байков А.В., Голубов Н.В., Ищенко А.Л. Экспериментальная установка для исследования процессов шлифования изделий из природного камня /Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 92. – Донецьк, ДонНТУ 2005. с. 164 – 174 2. Горобец И.А., Михайлов А.Н., Голубов Н.В. Исследование влияния формы режущей кромки шлифовального круга на производительность обработки изделий из природного камня/ Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. Наукових праць – Донецьк: ДонНТУ, 2008, Вип.35, С.49-58. 3. Горобец И.А. Михайлов А.Н. Управление качеством поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – с.164 – 174. 4. Gorobez I., Navka I., Lapajeva I., Schaban K. Die Parameter der Adaptronsysteme der Drehmaschinen – Modern Technologies, Quality and Restructuring International Conference N.C.M.R – Bulletin of the Politechnic institute of Jassy, Iassy, Romania 23-25 of May 2002 , Vol. XLVIII - S.100-104.

СИНТЕЗ ВАРИАНТОВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛОПАТОК ГТД НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

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

Аннотация. Выполнен синтез вариантов защитных покрытий на основе классификации методов их получения и разработаны математические модели на базе применения основных принципов и положений теории множеств и теории графов.

Ключевые слова: Синтез, множество, графы, технологический процесс, функционально-ориентированные покрытия.

Синтез – процесс соединения или объединения ранее разрозненных вещей или понятий в одно целое или структурированную группу. Основная задача синтеза защитных покрытий для лопаток ГТД – выбор такого типа защитного покрытия, который бы обеспечил получение заданных, требуемых и предельных эксплуатационных функций на всех уровнях глубины технологии [2].

Представим классификацию методов получения функционально-ориентированных покрытий в виде иерархической схемы (рис 1). В основу классификации положим дифференцирование по основным параметрам и граничным условиям протекания технологического процесса осаждения покрытия [3].



Рис. 1. Классификация методов получения функционально-ориентированных покрытий

Классификацию функционально-ориентированных технологий повышения эксплуатационных свойств можно представить иерархической схемой, приведенной на рисунке 2.

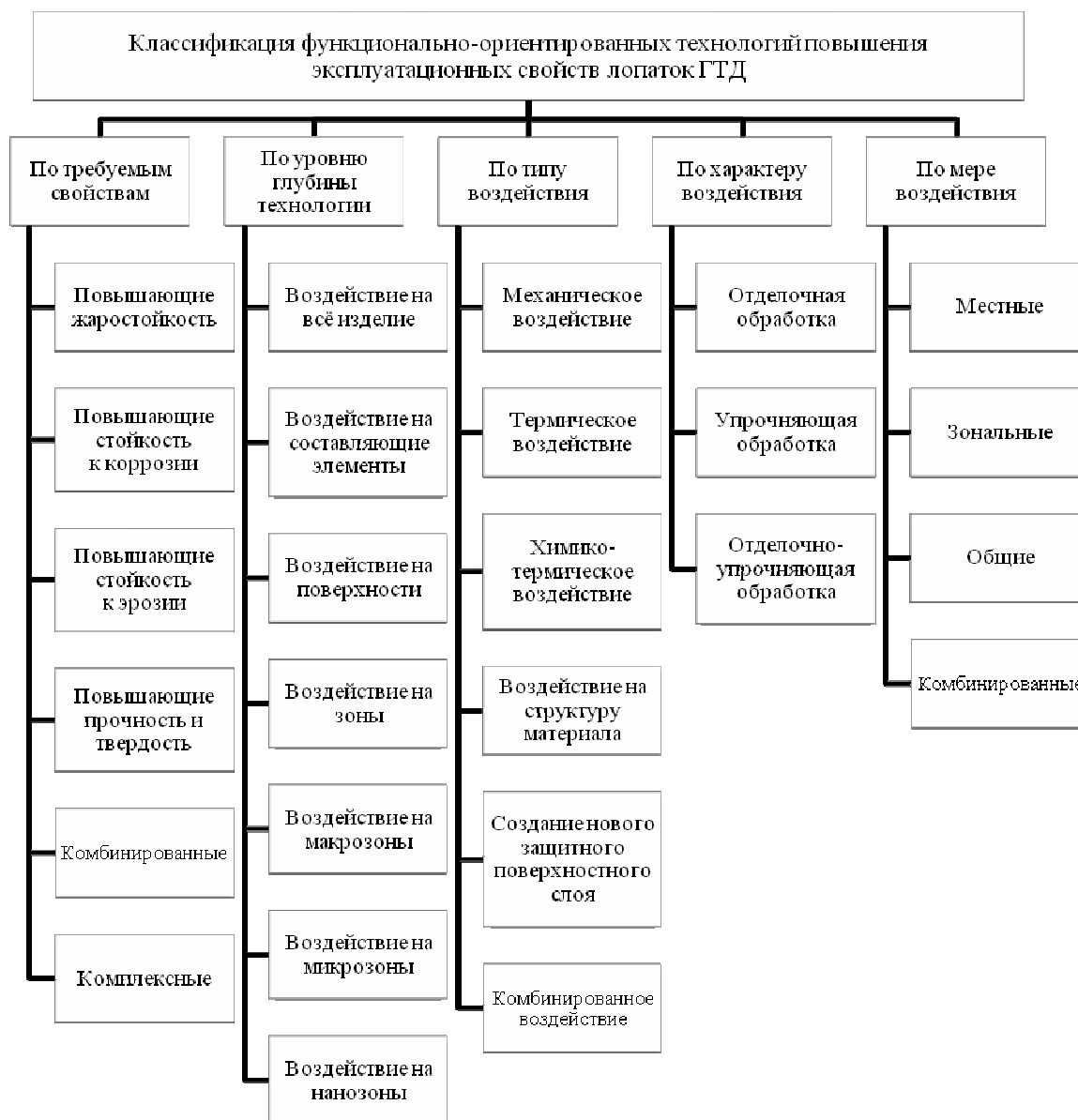


Рис. 2. Классификация функционально-ориентированных технологий повышения эксплуатационных свойств лопаток ГТД

При проектировании конкретного технологического процесса нанесения функционально-ориентированных покрытий определяется уникальная комбинация условий, указанных в классификации выше [2]. Математически синтез вариантов покрытий на основе технологического процесса их нанесения можно выразить в виде множества, приведенной на формуле:

$$S = \{A_i, C_j\}$$

где A_i – множество вариантов покрытий относительно состава, архитектуры и свойств защитного слоя, i – мощность множества; C_j – множество технологических процессов, j – мощность множества.

Выразим множество вариантов покрытий через сочетание параметров:

$$A_i = \langle a_1^n, a_2^m, a_3^p, a_4^r, a_5^s, a_6^t \rangle$$

Где a_1^n – вариант покрытия по типу наносимого материала; a_2^m – вариант покрытия по химическому составу наносимого материала; a_3^p – вариант покрытия по количеству слоев; a_4^r – вариант покрытия по толщине слоя/слоев; a_5^s – вариант покрытия по свойству наносимых слоев; a_6^t – вариант покрытия по комплексу свойств наносимых слоев.

Представим множество вариантов покрытий в виде матрицы:

$$A_i = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1(n-1)} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2(m-1)} & a_{2m} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3(p-1)} & a_{3p} \\ a_{41} & a_{42} & \dots & a_{4(r-1)} & a_{4r} \\ a_{51} & a_{52} & \dots & a_{5(s-1)} & a_{5s} \\ a_{61} & a_{62} & \dots & a_{6(t-1)} & a_{6t} \end{pmatrix}$$

Графически множество вариантов покрытий относительно состава, архитектуры и свойств защитного слоя можно выразить с помощью теории графов. Полученный граф вариантов покрытий приводится на рисунке 3.

Выразим множество технологических процессов нанесения покрытий через сочетание технических условий их реализации, основанных на классификации методов получения покрытий [2]:

$$C_j = \langle c_1^x, c_2^y, c_3^u, c_4^v \rangle$$

где c_1^x – вариант технологического процесса нанесения покрытия по характеру протекания осаждения; c_2^y – вариант технологического процесса нанесения покрытия по состоянию вещества; c_3^u – вариант технологического процесса нанесения покрытия по способу активации процесса; c_4^v – вариант технологического процесса нанесения покрытия по составу атмосферы в пространстве осаждения.

Представим множество технологических процессов нанесения функционально-ориентированных покрытий в виде матрицы:

$$C_j = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1(x-1)} & c_{1x} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2(y-1)} & c_{2y} \\ c_{31} & c_{32} & \dots & c_{3(u-1)} & c_{3u} \\ c_{41} & c_{42} & \dots & c_{4(v-1)} & c_{4v} \end{pmatrix}$$

Графически множество технологических процессов через сочетание технических условий можно выразить с помощью теории графов. Полученный граф

технологических процессов приводится на рисунке 4.

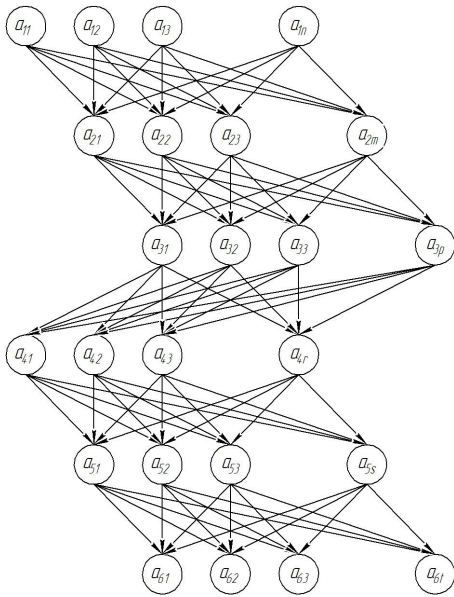


Рис. 3. Граф вариантов покрытий относительно состава, архитектуры и свойств защитного слоя

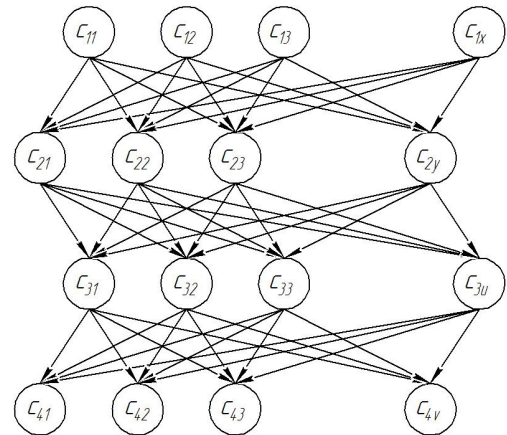


Рис. 4. Граф вариантов покрытий относительно состава, архитектуры и свойств защитного слоя

Каждый уникальный технологический процесс C_j призван реализовать нанесение заданного покрытия A_i , описанного комплексом параметров [3]. При этом набор технических условий, описывающих протекание технологического процесса C_j , оказывает прямое влияние на конечные характеристики покрытия S , получаемого в результате реализации данного технологического процесса. Условно этот принцип показан на рисунке 5 в виде обобщенного графа отношений.

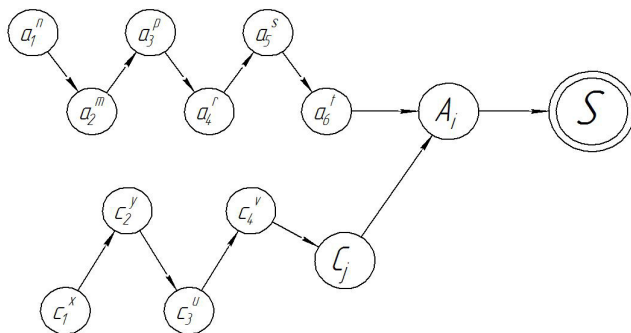


Рис. 5. Обобщенный граф

Список литературы: 1. Пухальская Г.В. Технологические особенности формирования характеристик поверхностного слоя лопаток компрессора. / Г.В. Пухальская, А.Д. Коваль, Л.П. Степанова. / Журнал «Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении», №1, 2006. – С. 47- 52. 2. Оре О. Теория графов. 2-е изд. / О. Оре. / - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 336 с. 3. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Царанова О.А., Байков А.В. (гр. ИТМм-18, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В работе выполнен анализ факторов, влияющих на производительность процессов внутреннего шлифования, и рассмотрены способы повышения эффективности внутреннего шлифования конструкторскими и технологическими методами.

Ключевые слова внутреннее шлифование, жесткость технологической системы, выхаживающие проходы.

Введение

Внутреннее шлифование применяется при необходимости получения отверстий высокой точности (6...9 квалитет) с шероховатостью поверхности ($Ra = 1,6...0,16$ мкм). Область внутреннего шлифования охватывает все типы производства. Оно применяется при обработке отверстий во втулках, кольцах подшипников, гильзах цилиндров двигателей, деталях гидро-, пневмоаппаратуры, шпинделях станков и т. д.

Внутреннее шлифование имеет ряд особенностей, среди которых особо важно выделить высокие требования к жесткости и виброустойчивости шпиндельных устройств шлифовальных станков, связанные с малыми обрабатываемыми диаметрами, и, в ряде случаев, с большой длиной отверстий. В связи с малой жесткостью шпиндельного узла для получения необходимых точности и качества применяют, как правило, 20-30 и более двойных ходов выхаживания. При этом отжим инструмента близок к установленной глубине резания, и лишь некоторые отдельные зёрна круга пластически деформируют неровности обработки [1]. Это приводит к тому, что время выполнения выхаживающих проходов может превышать время выполнения рабочих ходов. Поэтому поиск решений, обеспечивающих точность и качество отверстий на операциях внутреннего шлифования, является актуальной научно-технической задачей.

Основная часть

Процесс выхаживания характеризуется тем, что обработка производится с отключенной радиальной подачей. В этом случае процесс съема обрабатываемого материала и формирования параметров качества обработки происходит под действием упругой силы, возникающей в технологической системе. Чем выше режущая способность круга и жесткость технологической системы, тем меньшее время необходимо для достижения требуемых показателей точности обработки [2]. Следовательно, для сокращения количества выхаживающих проходов необходимо задействовать конструкторские (увеличением жесткости технологической системы) и технологические (уменьшением силы резания) методы.

Главным источником пониженной жесткости при внутреннем шлифовании является оправка, на которой крепится шлифовальный круг. Расчеты показывают, что доля данного элемента в податливости всей технологической системы может достигать до 75...90% [1].

Основными методами повышения жесткости шпиндельных оправок являются:

- увеличение диаметра оправок за счет применения однослойных абразивных кругов;
- применение оправок с большим модулем упругости;

- применение оправок конической формы.

При применении однослойного стеклоабразивного инструмента с ориентированным рельефом диаметр его режущей части близок к диаметру оправки, и жесткость шпиндельной оправки увеличивается. Недостатком данного метода является частая смена инструмента из-за низкой его стойкости, что в конечном счете ведет к значительным потерям вспомогательного времени.

Применение шлифовальных головок с оправками из материала с большим модулем упругости используется для получения точных отверстий, например, в деталях топливной аппаратуры [1]. В качестве материала для изготовления оправок можно применять твердые сплавы. Их модуль упругости более чем в два раза превышает модуль упругости сталей. Недостатком метода являются высокая стоимость материала и трудоемкость изготовления оправок.

Шлифовальные оправки конической формы имеют более высокую жесткость, чем цилиндрические. Область эффективного использования конических оправок определяется только величиной зазора между торцом шпинделя и торцом обрабатываемого отверстия для благоприятной подачи смазочно-охлаждающей технологической жидкости в зону резания.

Технологические методы решения задач повышения эффективности внутреннего шлифования основаны на стремлении к уменьшению силы резания. Силы резания определяются свойствами обрабатываемого материала, режимными параметрами обработки, режущими свойствами шлифовального инструмента, применением эффективных смазочно-охлаждающих технологических жидкостей.

Смазочно-охлаждающие технологические жидкости (СОТЖ) не только снижают температуру в зоне резания, но и уменьшают значение силы резания. Однако ограниченное пространство при внутреннем шлифовании является серьезным препятствием для эффективного использования СОТЖ. Чем больше отношение L/D , тем эффект от применения СОТЖ ниже. Для повышения эффективности шлифования рекомендуется использовать смазочно-охлаждающие технологические жидкости, содержащие поверхностно-активные вещества, в частности, для шлифования сталей, олеиновую кислоту [1].

Режущие свойства шлифовального инструмента определяются его характеристиками, в первую очередь зернистостью и маркой абразивного материала. Зернистость регламентируется качеством обрабатываемой поверхности. В качестве прогрессивных абразивных материалов применяются прогрессивные абразивные материалы рассматривают кубический нитрид бора – КНБ (эльбор) и алмаз. Применение для внутреннего шлифования эльборовых кругов, имеющих острые режущие кромки, в условиях пониженной жесткости, является весьма перспективным. При этом в 2...3 раза снижается сила резания (по сравнению с корундовыми кругами), уменьшается упругая деформация шлифовальной оправки, увеличивается точность обработки, производительность повышается - в 2...3 раза, стойкость - до 10 раз [1]. Недостатком эльборовых и алмазных кругов является высокая их стоимость.

Силы резания при шлифовании зависят от многих параметров:

- материала обрабатываемой заготовки и его физико-механических свойств;
- характеристики шлифовального круга;
- схемы шлифования;
- режимов и условий обработки;
- способов осуществления правки;
- продолжительности обработки с момента выполнения правки и др.

Аналитическое выражение зависимости силы резания от параметров обработки основывается на эмпирических данных и представляется в виде [3]:

$$P_z = c_p V_d^x t^y S^z V_{кр}^\alpha B^\beta.$$

Как видно из данного выражения силы резания при шлифовании определяются скоростью детали V_d и шлифовального круга $V_{кр}$ в зоне резания, поперечной подачей на двойной ход t , величиной продольной подачи S и шириной зоны контакта шлифовального круга и заготовки B .

Показатели степени при различных элементах режимов шлифования колеблются в широком диапазоне. Характерно, что показатели степени при скорости детали, продольной подаче, глубине шлифования за один проход и высоте круга имеют положительные значения, а при скорости круга - отрицательные. Следовательно, снижение силы резания без потери производительности обработки возможно за счет повышения скорости резания.

Уменьшение составляющих силы резания при увеличении скорости резания происходит по причине уменьшения силы трения и увеличения температуры в зоне контакта. Уменьшение силы внешнего трения приводит к уменьшению толщины стружки, которая может быть снята единичным зерном. Для получения высоких скоростей резания требуются частоты вращения шпинделя в несколько десятков тысяч оборотов в минуту, что вызывает серьезные трудности.

Негативным фактором высокоскоростной обработки является образование на поверхности шлифовального круга пузырьков воздуха, что препятствует подводу смазочно-охлаждающих технологических жидкостей к зоне резания [1].

При шлифовании, особенно при внутреннем шлифовании, которое характеризуется низкой жесткостью технологической системы, фактическая глубина резания отстает от номинального значения врезной подачи на двойной ход (глубины резания на двойной ход). В результате этого сила резания увеличивается с каждым последующим проходом. При выполнении выхаживающих проходов процесс съема обрабатываемого материала и формирования параметров качества обработки происходит под действием упруго-восстанавливающей силы, возникающей в технологической системе [4]. Графическая иллюстрация изменения сил резания при выполнении рабочих и выхаживающих проходов представлена на рисунке 1 [3].

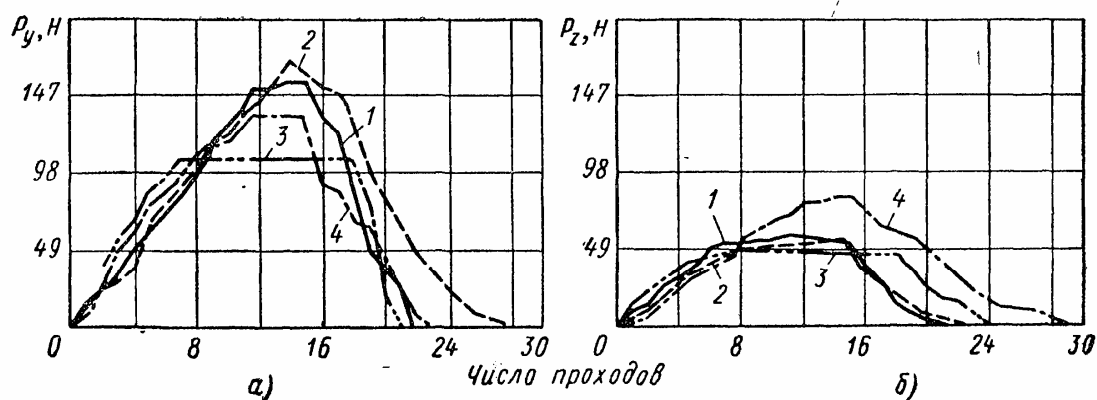


Рис.1. Зависимость радиальной и тангенциальной составляющих силы резания от числа проходов (после 15-го прохода – выхаживание)

Анализ представленных зависимостей показывает, что количество выхаживающих проходов тем меньше, чем меньше величина силы резания перед началом выхаживания. Кроме того, количество выхаживающих проходов будет тем меньше, чем выше режущая способность круга и жесткость технологической системы.

Если в результате выполнения рабочих проходов при внутреннем шлифовании в технологической системе создан начальный натяг величиной y_0 и шлифование производится с отключенной радиальной подачей станка, т.е. съем материала происходит за счет возникающих в технологической системе упругих перемещений, то на первом проходе круга (в продольном направлении) будет выполняться условие [2]:

$$y_0 = t_1 + y$$

где t_1 - глубина шлифования на первом проходе круга;

y - величина упругого перемещения в технологической системе.

Упругое перемещение в технологической системе определяется зависимостью:

$$y = \frac{P_y}{c},$$

где P_y - радиальная составляющая силы резания;

c - приведенная жесткость технологической системы.

Таким образом, чем меньше значение радиальная составляющая силы резания и выше жесткость технологической системы, тем больше будет фактическая глубина резания при каждом выхаживающем проходе.

Заключение

Анализ процесса внутреннего шлифования деталей показал, что производительность процесса можно существенно повысить за счет сокращения количества выхаживающих проходов. Количество выхаживающих проходов зависит от величины деформации технологической системы на момент последнего рабочего прохода с набором глубины.

Сокращение количества выхаживающих проходов и, соответственно, повышение производительности процесса внутреннего шлифования, возможно путем применения как конструкторских, так и технологических решений. Конструкторские решения направлены на повышение жесткости технологической системы, прежде всего шпиндельной оправки. Технологические методы должны быть направлены на уменьшение сил резания, особенно на последних рабочих ходах, проводимых с набором глубины резания.

Список литературы: 1. Никифоров И.П. Шлифование глубоких отверстий малого диаметра: проблемы и решения / И.П. Никифоров. - Псков: Изд-во политехн. ин-та, 2006.-200 с. 2. Бережной, Р.А. Повышение точности и производительности обработки на этапе выхаживания при шлифовании / Р.А. Бережной // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – 2009. – С. 14–19. 3. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 4. Васин, М.П. Адаптивное управление процессом шлифования колец высокоточных подшипников / М.П. Васин, В.В. Горбунов, С.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. – 2006. – Т. 1. – №3.– С. 129–136.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Захарченко Н.Н., Коваленко В.И. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	3
Ковалева А.А., Петрешин Д.И. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ.....	6
Пастушенко П.Н., Мамолат А.Г., Цокур В.П. РАЗРАБОТКА И МОДЕРНИЗАЦИЯ САМОДЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА.....	9

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Вильчик А.Г., Грубка Р.М. ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО – МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ДИСКОВОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗОЙ	13
Корепов А. А., Буленков Е. А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	17
Корольчук А.А., Михайлов А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ЛОПАТОК ГТД.....	20
Михедова Н.В., Дьяченко Е.А., Лахин А.М. ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....	24
Лось Е.П., Лахин А.М. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЧЕРВЯКОВ ЛЕБЕДКИ HW-AB 1000.....	28
Огренич Д.В., Болтян А.В., Голубов Н.В., Горобец И.А. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ЗВЕЗДОЧЕК	32
Огренич Д.В., Михайлов А.Н. СИНТЕЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ.....	34

Пилякин Г.П., Лахин А.М. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ ЛЕБЕДКИ HW-AB 1000.....	39
Сайков И.С., Байков А.В. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ НЕ- ЖЕСТКИХ ВАЛОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ.....	44
Харитонов О.Ю., Михайлов А.Н. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, СИСТЕМ ЧПУ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕ- СКОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	46
Измайлов И.А., Хавлин Т.В., Глухов С.В. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ, СУЩНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ЛОПАТОК ТУР- БИН ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ОРИЕНТИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....	51
ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ИНСТРУМЕНТ	
Горобец И.А., Голубов Н.В., Харитонов О.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИ- РОДНОГО КАМНЯ	56
Корольчук А.А., Михайлов А.Н. СИНТЕЗ ВАРИАНТОВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛОПАТОК ГТД НА ОСНО- ВЕ КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ.....	60
Царанова О.А., Байков А.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	64

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи до 3 страниц формата А4 (210x297 мм) с полями: **верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм.** Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord шрифтом Times New Roman размером 12ю распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати

2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название кафедры и организации, города, страны, основной текст, выводы, список литературы. Название печатать прописными (жирными) буквами, без переносов, центрировать. Через 1 пустую строку строчными буквами – фамилии и инициалы авторов (жирными), рядом в круглых скобках курсивом – сокращенное название кафедры и организации, города, страны (строку центрировать). Через 1 пустую строку – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов), межстрочный интервал 1, **с переносом слов.** См. образец оформления материалов.

3. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер Формул Для Microsoft Equation

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	12 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	10 pt

4. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять размерами не менее 60x60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: «Рис. 3. Схема устройства.» Рисунки отделяются от основного текста интервалом.

5. Таблицы должны иметь названия и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: «Таблица 2. Классификация муфт.» Таблицы отделяются от основного текста интервалом.

6. Список литературы должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

Иванов И.И., Петров П.П. (гр. ИТМ-14, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

(пустая строка)

Аннотация. В статье приведены данные по структурному синтезу сборочных уравнений описывающих процесс сборки изделий. (курсив, 6 ...8 строк)

Ключевые слова: структура технологии, синтез, процесс, сборка. (курсив, 5 слов)

(пустая строка)

1. Введение

Во введении необходимо представить литературный обзор современного состояния вопроса исследования, показать актуальность работы, поставить цель и определить задачи исследований (0,5 страницы).

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

.....

..... информационные и другие потоки (рис. 5) могут быть описаны

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

Список литературы: 1. Ким И. П. Исследование эффективности роторных машин / И.П. Ким. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А. В. Надежность технологических машин / А. В. Устюгов. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 425 с.

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Редакционная коллегия журнала «Инженер», кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, ДНР.

Тел. (+38 062) 305-01-04, (+38 062) 301-08-05; факс - (+38 062) 305-01-04;

E-mail: tm@fimm.donntu.org или mntk21@mail.ru http: // <http://tm.donntu.org>

Председатель редакционной коллегии – А. Н. Михайлов, тел. (+38 062) 305-01-04.

Зам. председателя – А. В. Байков, тел. (+38 062) 301-08-05.

Ученый секретарь – И.А. Петряева, тел. (+38 062) 301-08-05.