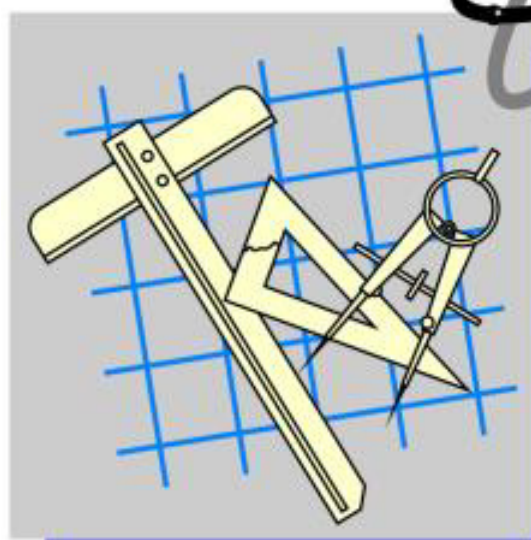
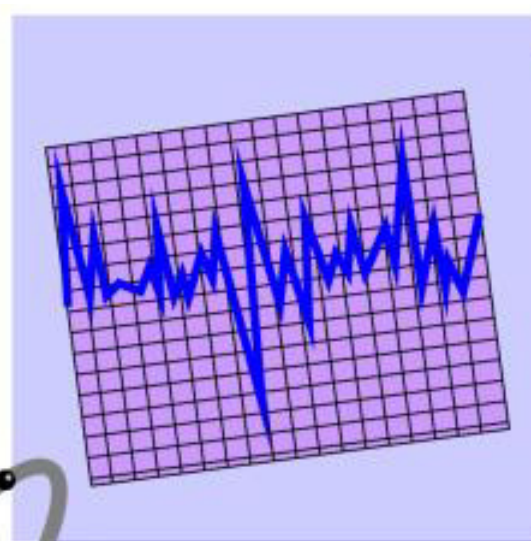


*Студенческий научно-технический
журнал*

ИНЖЕНЕР

№1 (31) 2021



ДОНЕЦК-2021



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

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 1(31) '2021

Донецк – 2021

УДК 62

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 5 от 4 июня 2021 г.)

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

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

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

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

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

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Грубка Р. М., Петряева И.А., Селивра С. 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», 2021

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА ПОДАЧ ДЛЯ НАСТОЛЬНОГО СВЕРЛИЛЬНО -
ГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ УЧЕБНЫХ ЦЕЛЕЙ

Калинин Н.К., Гусев В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк)

Аннотация: В статье приведен анализ характеристик привода настольно сверлильно-гравировального станка на базе контролера ТВ6560HQT с шаговым двигателем. Целью работы был анализ привода подачи станка.

Ключевые слова: настольно сверлильно-гравировального станок, технические характеристики станка, исследование, анализ динамических характеристик привода.

Введение

В лабораториях учебных заведений СНГ в подавляющем большинстве использовалось оборудование (в том числе, с ЧПУ) производственного назначения, занимающее большие площади и затрат на обслуживание, не отвечающее дидактическим требованиям современных обучающих технологий и не обеспечивающее должного уровня решения учебно-методических задач [1]. Эффективным средством решения возникших проблем являются настольные учебные станки с компьютерными системами ЧПУ, требующие малых затрат энергии, гибко реализующие все требующиеся функции устройств ЧПУ, позволяющие значительно повысить эффективность управления и учебного процесса. На кафедре «Мехатронных систем машиностроительного оборудования» ДОННТУ был создан настольно-сверлильно-фрезерный станок (рис. 1). Привод подачи станка был создан на основе шагового двигателя (ШД) 23HS8430.



Рис. 1. Настольный сверлильно-гравировальный станок

Привод подачи станка был создан на основе шагового двигателя (ШД) 23HS8430, компоновочная схема которого приведена на рисунке 2. Шаговый двигатель (ШД) – это высокоточный приводной двигатель, управление которым осуществляется с помощью последовательности входных импульсов, вызывающих дискретные угловые перемеще-

ния. Возможность точно управлять углом поворота и скоростью позволила найти этим двигателям широкое применение. Техническая характеристика ШД приведена в таблице 1, применение которого имеет следующие преимущества: высокая надежность, низкие требования к обслуживанию и к обслуживающему персоналу, относительно низкая цена, высокая динамическая точность и. недостатки: падение крутящего момента на высокой скорости (рис. 3), низкая ремонтопригодность, возможность эффекта потери шагов.

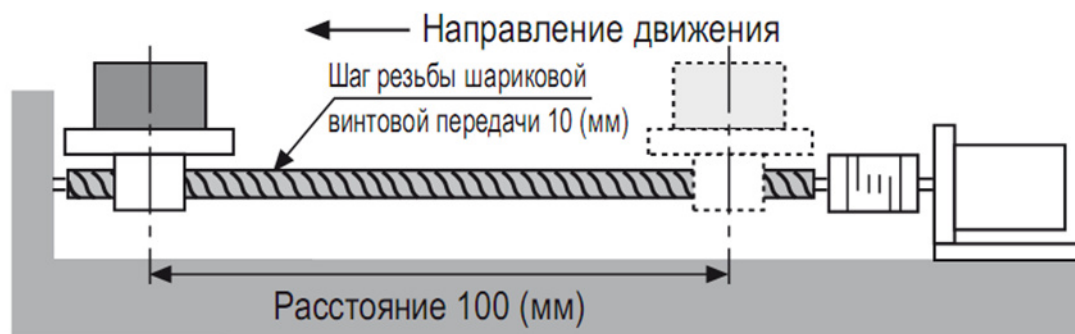


Рис.2. Принципиальная схема привода подачи настольный сверлильно-гравировальный станок

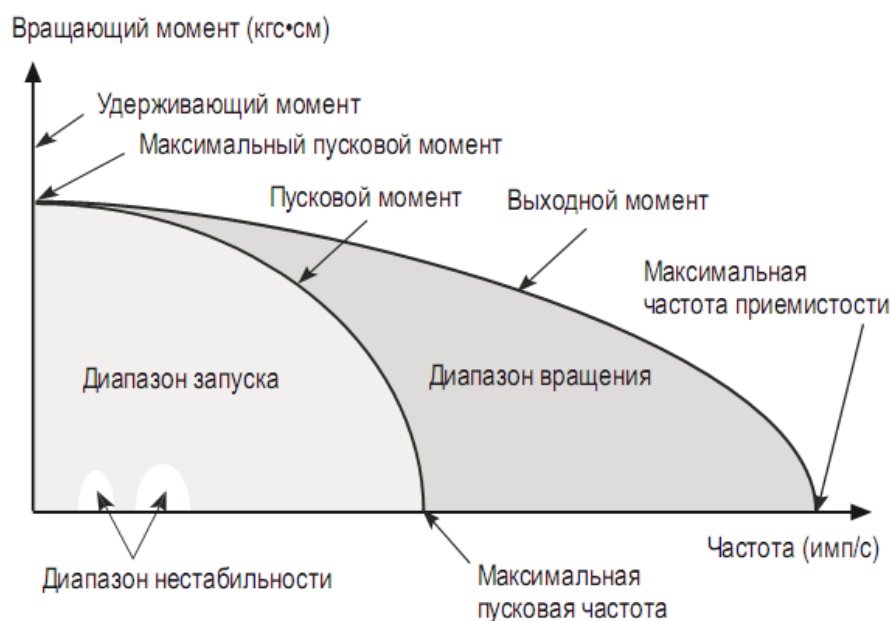


Рис. 3. Динамическая характеристика ШД

Для управления ШД необходимы только устройство управления и контроллер движения. Устройство управления для непосредственного управления ШД, а контроллер движения - для управления устройством управления ШД. Устройство управления представляет собой отдельную цепь для управления ШД и подает электрические сигналы в зависимости от числа фаз двигателя. Контроллер движения служит для управления углом поворота, скоростью и другими параметрами ШД. Был избран программируемый блок управления шаговыми двигателями ТВ6560НQT.

Программируемый блок управления ТВ6560НQT предназначен для биполярного

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Таблица 1 – Техническая характеристика шагового двигателя

Наименование	Ток/Фаза, А	сопротивление /фаза, Ом	Индуктивность/ фаза, Гн	Удерживающий момент, Н *см	Длина, мм	Момент инерции ротора, Н *см	Масса, кг
23HS8430	3.5	1	3.5	180	76	440	1.05

управления шаговыми двигателями с максимальным током каждой из фаз до 3,5 А. К контролеру можно подключать шаговые двигатели с током фазы менее 3,5 А по сколько на контролере есть возможность выставления тока 25%, 50%, 75 %, 100% от максимального тока 3,5 А) на который просчитан этот контролер. максимального тока(3,5 А) на который просчитан этот контроллер. Можно подключать и с большим током фазы, но будет потеря мощности которую может отдать двигатель. Блок управления поддерживает полношаговый режим работы или осуществляет дробление на 1/2, 1/4, 1/16 шагу.

При работе в программируемом режиме блок по командам от ПК задает угол поворота, направление движения, начальную и максимальную скорость, ускорения. Есть возможность складывать сложные алгоритмы(исполнительные программы) с организацией циклов, синхронизацией с внешними устройствами. Программы управления шаговыми двигателями содержатся у перезаписываемой независимой памяти контролера, или могут храниться в виде файла на компьютере. Блок ТВ6560HQT может работать автономно, от компьютера (LPT - порт или COM - порт) или от внешнего задает контролера. Для управления от компьютера назначенная программа Mach3. Блок имеет возможность получать сигналы от внешних устройств и датчиков. Для этого предусмотрены цифровые входы. Предусмотренная функция поиска нулевой точки. В разработке мехатронных комплексов важную роль играют различные программные пакеты для математического моделирования, такие как MATLAB с расширением SIMULINK [2]. В данной работе они используются для анализа и синтеза дискретного электропривода.

Цель работы – с помощью MATLAB SIMULINK промоделировать работу привода подачи настольного сверлильно-гравировального станка для учебных целей.

Основное содержание и результаты работы.

Структурная схема привода подачи настольный сверлильно-гравировальный станка имеет вид, который представлен на рис. 4.

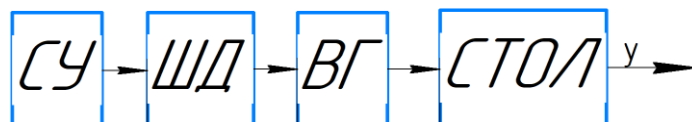


Рис. 4. Структурная схема привода подачи настольный сверлильно-гравировальный станка, где СУ – система управления, ШД – шаговый двигатель, ВГ – винт-гайка скольжения

Математическая модель привода подач настольный сверлильно-гравировальный станка состоит из:

Математической модели ШД

- уравнения движения ротора двигателя под воздействие вращающего электромагнитного момента

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = M_{\text{ЭМ}} + M_{\text{ПМ}} - M_c - K_{\text{ВТ}} \frac{d\theta}{dt}, \quad J = J_0 + J_1;$$

- Выражения для электромагнитного момента

$$M_{\text{ЭМ}} = K_1 (I_A + \cos(\theta_{\text{ЭМ}}) - I_a - \cos(\theta_{\text{ЭМ}}) + I_B + \sin(\theta_{\text{ЭМ}}) - I_B - \sin(\theta_{\text{ЭМ}}));$$

- Выражение для момента создаваемого постоянными магнитами

$$M_{\text{ПМ}} = -K_{\text{ПМ}} \sin(4\theta_{\text{ЭМ}}), \quad \theta_{\text{ЭМ}} = \frac{N_{\text{Ш}}}{4} \theta;$$

где J – суммарный момент инерции;

$M_{\text{ЭМ}}$ – электромагнитный момент;

$M_{\text{ПМ}}$ – момент, создаваемый постоянными магнитами;

M_c – момент сопротивления;

$K_{\text{ВТ}} = 10$ – коэффициент вязкого трения

Передаточная функция винт гайки скольжения

$$i = \frac{p}{2\pi}, \quad \text{где } p \text{ – шаг винта, равный } 10 \text{ мм.}$$

Момент инерции стола настольный сверлильно-гравировальный станка

$$J_c = m_c \cdot \left(\frac{v_c}{\omega}\right)^2 = m_c \left(\frac{p}{2\pi}\right)^2, \quad \text{где } m_c \text{ – масса стола с заготовкой (0,5кг),}$$

ω – угловая скорость винта (ШД).

Далее в пакете MATLAB SIMULINK была создана модель (Рис.5) со следующими параметрами: $K_{\text{ВТ}}=10$; $J_0=0,000084 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $J_c=0,000025 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $K_{\text{рм}}=1$; $n=3000$; $K_1 = 4,432$

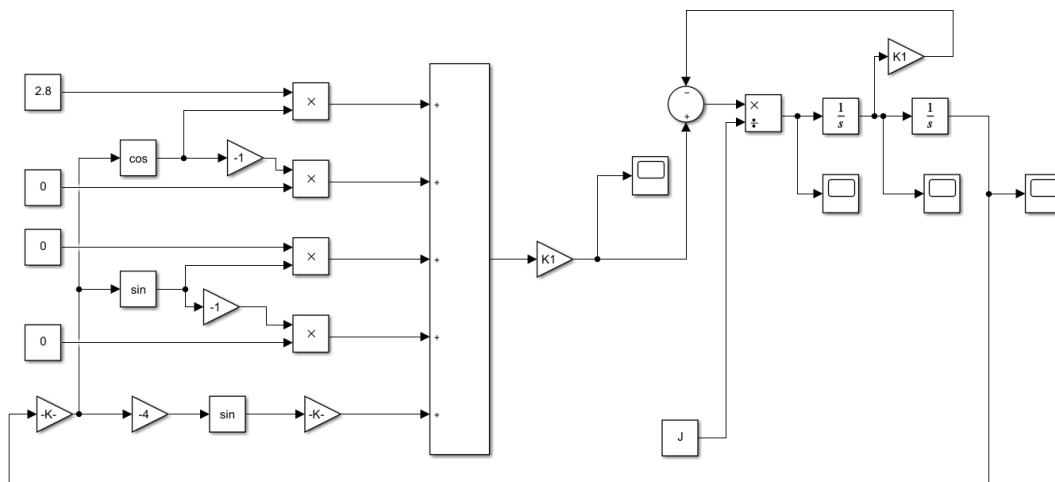


Рис. 5. Структура привода с шаговым двигателем в Simulink

Графики переходных процессов по ускорению и скорости, приведены на рисунках. Длительность переходных процессов не превышает 0,06с, что можно считать удовлетворительным для привода подач настольный сверлильно-гравировальный станка предназначенного для учебных целей.

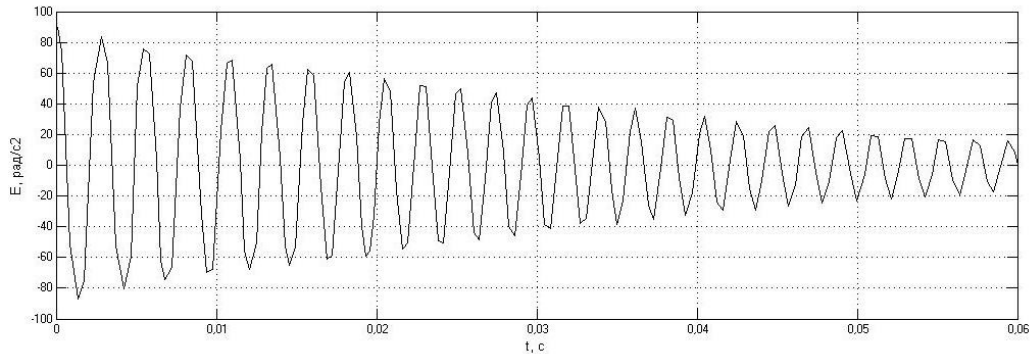


Рис. 6 – График переходного процесса по ускорению

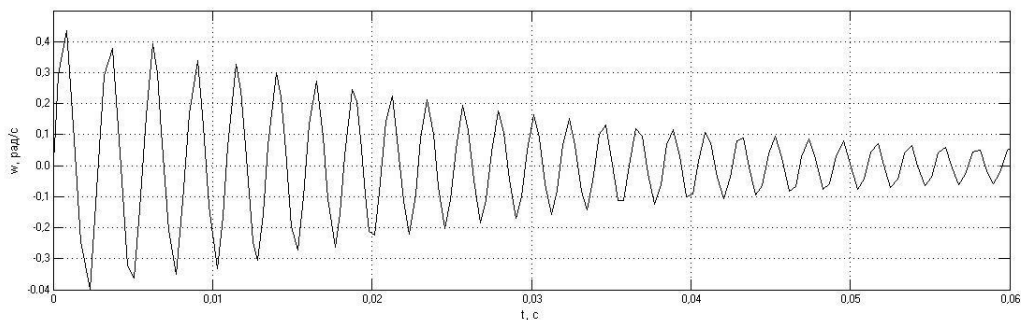


Рис. 7 – график переходного процесса по скорости

Выводы

1. Предложенная математическая модель привода с шаговым двигателем может быть использована для анализа динамических характеристик привода подач настольный сверлильно-гравировальный станка.
2. Длительность переходных процессов в приводе не превышает 0,06 с, что можно считать приемлемым для станка предназначенного решения учебно-методических задач.
3. В дальнейшем предполагаем для увеличения плавности работы привода внедрить пульсаторы [3] и подавать токи на фазы пульсами.

Список литературы: 1. Мазеин, П.Г. Сверлильно-фрезерный станок с компьютерной СЧПУ/ П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, С.В. Шереметьев и др. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001. – 80 с. 2. Черных, И.В. [Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink](#). – М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2008. 3. Осадчий, В.В. Лабораторный стенд для исследования алгоритмов микропроцессорных систем управления шаговыми двигателями/ В.В. Осадчий, Е.С. Назарова, С.Ю. Тоболкин // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. - 2014. - Вип. 2. - С. 102-108. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/emezs_2014_2_15.

621.7.067

**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ТАКТОВОГО СТОЛА В СОСТАВЕ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Кулинченко А.Н., Полтавец В.В.

(кафедра МСМО, ГОУВПО «ДОННТУ», г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные конструктивные элементы тактового стола и общая структура его привода. Описана электрическая схема системы управления тактовым столом и указаны основные этапы кинематического расчёта электромеханического привода стола.*

***Ключевые слова:** тактовый стол, тележка, тяговая цепь, привод, редуктор, схема управления.*

Введение

Транспортные связи гибкого автоматизированного производства охватывают грузопотоки межцеховые, межучастковые, межоперационные, а также все изменения пространственного положения заготовок (ориентацию, установку и снятие, касетирование и др.). Характер и технические параметры транспортных связей являются одним из наиболее весомых факторов, влияющих на производительность технологических систем, совершенствование технологических компоновок оборудования и рациональное использование производственных площадей [1].

Для накопления и транспортирования обрабатываемых заготовок в системах межстаночного (межоперационного) транспортирования применяются тактовые столы, которые по конструкции представляют собой горизонтально замкнутые тележечные грузонесущие конвейеры с настольным пульсирующим (тактовым) перемещением тележек. Основной функцией тактовых столов является межоперационная передача заготовок от одного рабочего места к другому в процессе их обработки и изготовления продукции. Разгрузка тележек по заданным рабочим местам осуществляется в автоматическом цикле с использованием промышленного робота.

Заготовку можно устанавливать непосредственно на пластину тактового стола, если форма и размеры заготовки позволяют это сделать, или на спутники и станочные паллеты, которые крепятся на пластинах тактового стола. Привод стола осуществляется электродвигателем через передаточный механизм на звездочку, вращающую цепь с прикрепленными к ней пластинчатыми каретками (тележками) [2]. Рассмотрим основные конструктивные элементы стола и структуру его системы управления.

Основное содержание работы

Тактовый стол (рис. 1) состоит из замкнутого контура центрально расположенной тяговой цепи 6 (оси шарниров которой располагаются вертикально) с постоянно прикрепленными к ней тележками-платформами 9, движущимися по направляющим путям на опорных роликах 5. На тележках располагаются транспортируемые грузы-изделия; тележки тактового стола жестко крепятся к одному из звеньев тяговой цепи. Привод тактового стола состоит из электродвигателя 3 и одноступенчатого конического редуктора 2. Пульсирующее движение тележек осуществляется при помощи датчиков перемещения 1, сигнал от которых поступает на блок управления 4.

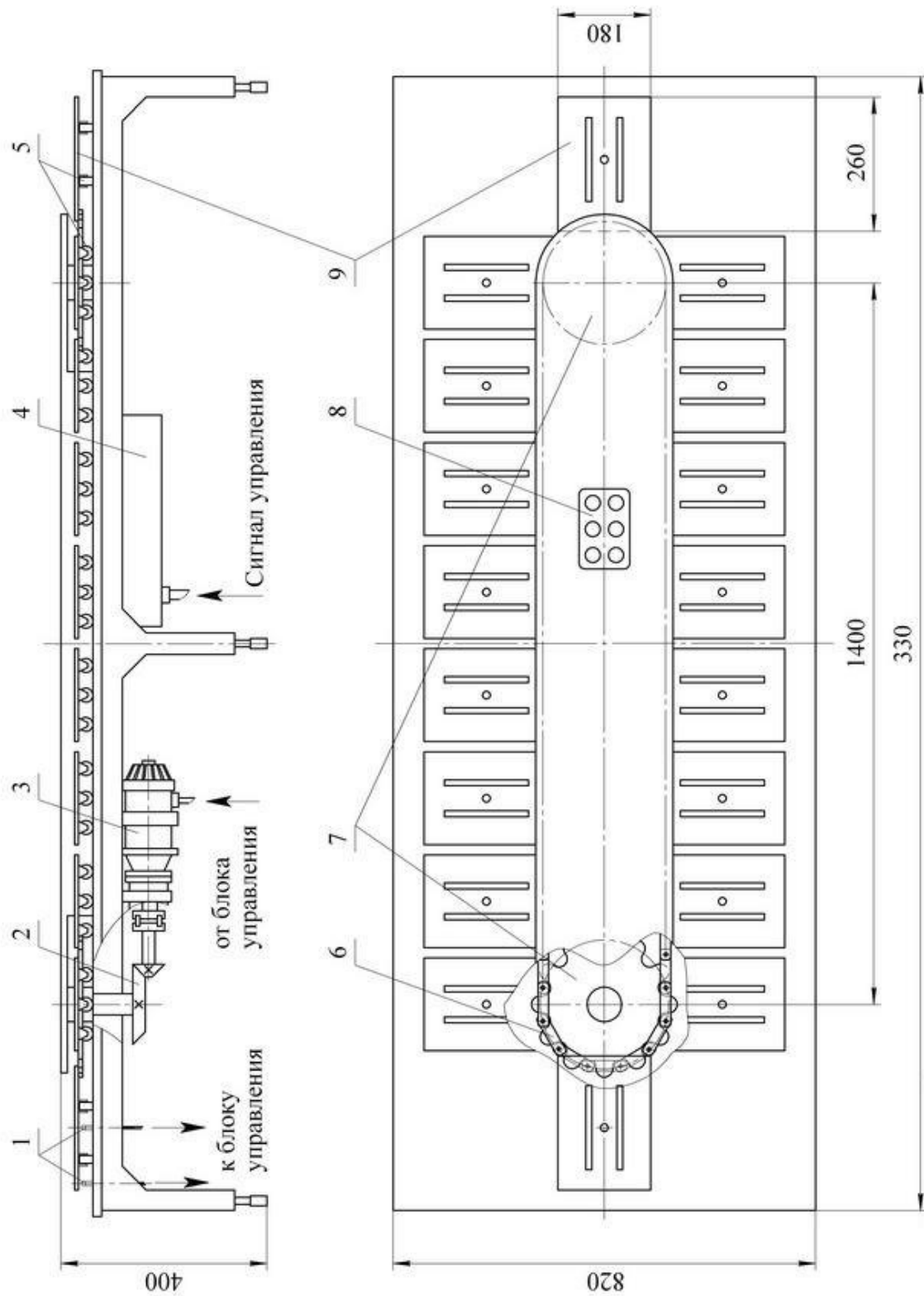


Рис. 1. Общий вид и основные узлы тактового стола

Режимы работы тактового стола задаются с использованием пульта управления 8. Тяговым элементом тактового стола служит однопластинчатая катковая цепь по ГОСТ 588-81 с увеличенной подвижностью некоторых шарниров.

Секцию тяговой цепи, приходящуюся на одну платформу, составляют из двух или четырех звеньев. В каждой секции в звене между платформами один шарнир делают подвижным, для чего отверстия во внутренних пластинах с одной стороны выполняют удлиненными. Подвижные шарниры допускают некоторое сокращение длины цепи при действии усилий сжатия и позволяют в отдельных случаях устанавливать конвейеры этого типа без натяжных устройств, компенсируя возможное несоответствие в длинах цепи и контура направляющих путей.

Для предохранения тактового стола от поломок при случайных перегрузках или случайном застопорении цепи на приводной звездочке 7 или на зубчатом колесе приводного вала устанавливают предохранительный срезной штифт, который при увеличении тягового усилия сверх допускаемого срезается, и тактовый стол останавливается.

Тележки должны обеспечивать удобную, надежную и простую установку и съем грузов, и их устойчивое положение на всей длине тактового стола, т.е. на всех его рабочих местах. В случае необходимости на платформе должны быть предусмотрены крепления, фиксаторы, зажимы, а также приспособления для наклона, поворота или подъема изделия, необходимые в производственном процессе. Центр тяжести изделия-груза должен находиться внутри опорного контура.

Тактовый стол может работать в трех режимах: ручного управления, автоматического управления и режима непрерывного вращения. При работе тактового стола в автоматическом режиме команды управления поступают от системы ЧПУ робота. При этом может осуществляться как шаговое, так и непрерывное перемещение тележек.

Схема управления тактовым столом (рис. 2) обеспечивает ручное управление с помощью переключателя Т1 и автоматическое перемещение стола на шаг по сигналу от промышленного робота.

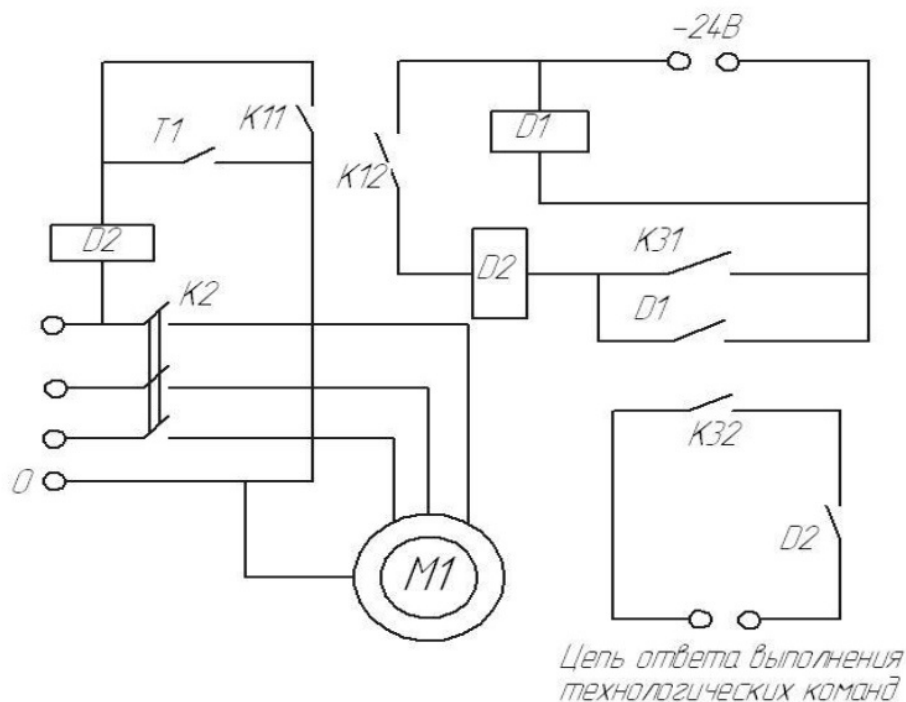
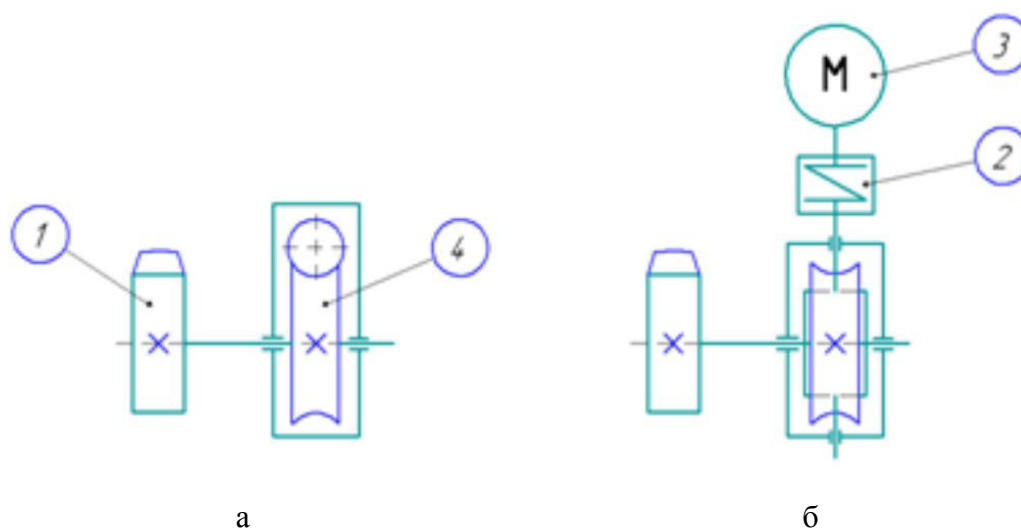


Рис. 2. Электрическая схема системы управления тактовым столом

При подаче от промышленного робота технологической команды запитывается реле P1 (на схеме не указано) и замыкаются его контакты K11, запитывается реле P2 (магнитный пускатель), включаются контакты K2 и запускается двигатель M1 перевода позиции тактового стола. При подходе каретки тактового стола к точке позиционирования замыкается предварительный датчик положения D1, что включает реле P3. Замыкаются контакты K31, реле P3 ставится на самопитание (переходит на независимость от датчика D1), и контакт K32, который подготавливает к работе цепь ответа на технологическую команду. При достижении кареткой стола заданной позиции замыкается датчик положения D2 и цепь ответа. Получение роботом ответа о выполнении технологической команды автоматически снижает ток в цепи ответа, что приводит к обесточиванию реле P1, P3 и, далее, после размыкания контактов K11, а затем K2, к остановке двигателя.

Выбор привода тактового стола зависит от технических требований, предъявляемых к тактовому столу, вида и характеристик робототехнического комплекса (РТК), в который встраивается стол, от формы, размеров и массы позиционируемых на столе спутника или паллеты с заготовками. Так как позиционирование обычно происходит на довольно большие расстояния в пределах РТК, то применение пневмо- и гидропривода не является рациональным. Для снижения требуемой скорости перемещения тележек с заготовками используют передаточный механизм, в который после конического редуктора устанавливают червячный редуктор. Выходной вал червячного редуктора является осью приводной звездочки (рис. 3, а). В некоторых тактовых столах для упрощения конструкции привода после электродвигателя сразу устанавливают червячный редуктор (рис. 3, б), что приводит к изменению схемы крепления электродвигателя.



Привод тактового стола осуществляется от электродвигателя с регулируемой частотой вращения. Перемещение тележек с заготовками на них с заданной величиной такта достигается при помощи установленных на неподвижной части стола конечных выключателей, при наезде тележки на которые привод тактового стола отключается на определенный, заданный в системе управления, промежуток времени [3].

Для кинематического расчёта привода необходимо знать массу подвижных частей стола с тележками и заготовками:

$$m = m_{ст} + n \cdot m_{тел} + n \cdot m_{присп} + n \cdot m_{заг},$$

где $m_{ц}$ – масса цепи; $m_{тел}$ – масса тележки; $m_{присп}$ – масса приспособления, установленного на тележке (спутника, палеты и т.п.); $m_{заг}$ – масса заготовки; n – количество тележек,двигающихся на столе.

Сила сопротивления, которую должен преодолеть привод для перемещения цепи, определяется силами инерции и силами трения:

$$F_c = F_{ин} + F_{тр} = m \cdot a + f \cdot m \cdot g,$$

где a – ускорение при разгоне и торможении цепи, $a \approx 0,015 \text{ м/с}^2$; f – коэффициент трения между колёсами тележек и поверхностью стола, $f = 0,44$; g – ускорение свободного падения.

Требуемая мощность привода

$$P_{пр} = F_c \cdot v,$$

где v – скорость перемещения стола.

КПД привода стола в общем случае [4]:

$$\eta_{пр} = \eta_m \cdot \eta_{кр} \cdot \eta_{чр} \cdot \eta_{цп} \cdot \eta_{подшк} \cdot \eta_{подшс},$$

где η_m – КПД упругой муфты; $\eta_{кр}$ – КПД конического редуктора; $\eta_{чр}$ – КПД червячного редуктора; $\eta_{цп}$ – КПД цепной передачи; $\eta_{подшк}$ – потери в подшипниках качения катков цепи; $\eta_{подшс}$ – потери в подшипниках скольжения.

В частном случае, если в приводе отсутствует конический редуктор, КПД будет:

$$\eta_{пр} = \eta_m \cdot \eta_{чр} \cdot \eta_{цп} \cdot \eta_{подшк} \cdot \eta_{подшс}.$$

Соответственно, требуемая мощность электродвигателя привода определится из выражения:

$$P_{пр} = P_{пр} / \eta_{пр}.$$

Вывод

Выявленные в результате анализа схемы управления тактовым столом взаимосвязи и рассчитанные по приведенным формулам значения величин входят в состав массива исходных данных для исследования и оптимизации конструктивных и функциональных параметров тактовых столов, а также для выбора рациональных характеристик элементов его системы управления.

Список литературы: 1. Гибкое автоматизированное производство / В.О. Азбель, В.А. Егоров, А.Ю. Звоницкий и др.; Под общ. ред. С.А. Майорова, Г.В. Орловского, С.Н. Халкиопова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 454 с. 2. Моисеев, Ю.И. Применение промышленных роботов для загрузки металлообрабатывающего оборудования: учебное пособие / Ю.И. Моисеев. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. – 170 с. 3. Сыряжкин, В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: учебное пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы) / В.И. Сыряжкин. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2016. – 524 с. 4. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 560 с.

ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ МОДЕЛЬНОЙ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ

Салосин В.И., Лахин А.М.

(кафедра ТМ, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье представлены способы и особенности изготовления литейных моделей из пластика с применением 3D печати.

Ключевые слова: модельная оснастка, литье, изготовление, 3D печать, выжигание, выплавление.

Введение

Модельная оснастка — разнообразные приспособления, формы и инструменты, с помощью которых изготавливается литейная форма, в дальнейшем используемая для получения отливки.

Зачастую, говоря о модельной оснастке, имеют ввиду так называемый модельный комплект — набор элементов и приспособлений, используемых при формовке и образующих полость формы для литья. Помимо литейной модели, модельный комплект содержит такие элементы как литниковую систему, стержневые ящики, зачастую даже шаблоны — проверочные и сборочные.

Производство модельной оснастки из пластика с помощью 3D-печати — экономически эффективный процесс. Напечатанные модели можно применять для формовки, а так же как выжигаемые модели. Так же эффективна печать различных калибровочных и сборочных шаблонов и других элементов модельного комплекта

Преимущества пластиковой модельной оснастки.

Удобство использования, транспортировки и хранения. Напечатанные на 3D принтере модели, имеют внутри сотовую структуру, за счет чего они легче чем деревянные в несколько раз рис. 1. Это упрощает все процедуры по обработке и перемещению моделей. При хранении пластик не изменяет своих размеров от влажности и температуры в отличие от дерева, которое коробится и меняет размеры в больших пределах.

Высокая точность и скорость изготовления моделей.

По сравнению с ручным изготовлением, 3D-печать позволяет добиться меньших отклонений в размерах, особенно на сложной геометрии. Так же, сложные модели вручную изготавливаются намного дольше: например, 1 месяц вручную против 48 часов печати.

Уменьшение себестоимости литья.

За счет большей точности, 3D-печать позволяет уменьшить припуски под мех обработку, что выливается в экономию при литье.

Повышение эффективности производства, снижение издержек.

Следует учитывать, что внутри модель получается с сотовым заполнением, прочность получается, в основном, за счет внешней стенки. Толщина стенки достаточная для большинства изделий — 2,0-3,5 мм рис.1.



Рис. 1. Сотовая структура заполнения детали

Этапы изготовления литейных моделей

1. Получение 3D-модели изделия из программы трехмерного моделирования
2. Преобразование 3D-модели в G-code и загрузка на 3D-принтер
3. 3D-печать
4. Механическая обработка и покрасочные работы.
5. Модельная оснастка готова

Закладные элементы.

Если в модель требуется ввинчивать болты для её закрепления для формовки, вынимания из ящика или транспортировки, то есть несколько вариантов как это организовать:

- Заложить в модель пазы-колодцы, в которые после печати вставятся гайки. Снаружи отверстия зашпаклевываются.
- Заложить в модель отверстия, в которых после печати будет нарезана резьба и вкручены металлические футорки. Например, внешняя резьба М14, внутренняя М8.
- Вклеить шпильку

Если сравнивать 3D-печать с изготовлением моделей методом фрезеровки, то очевидно, что 3D-печать позволяет обойтись без дорогостоящих ЧПУ-станков, требующих высококвалифицированных операторов. Так же, отпадает необходимость траты времени на изготовление заготовок из дерева или МДФ для фрезеровки.

3D-принтер работает круглосуточно, 7 дней в неделю.

Изготовление выжигаемых литейных моделей на 3д принтере.

Литье по выжигаемым моделям — одна из технологий точного литья. Технология применяется при изготовлении ответственных деталей в таких отраслях промышленности как авиакосмическая, судостроительная, оборонная и других. Использование

3D печати может существенно оптимизировать процессы получения точных отливок рис.2.

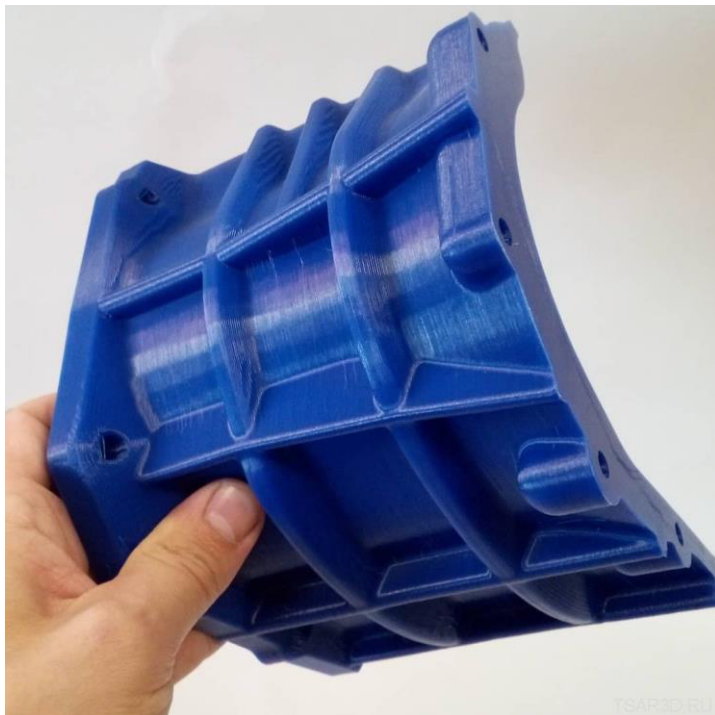


Рис. 2. Напечатанная на 3д принтере модель для литья по выжигаемым моделям. Материал: Filamentarno Wax3D.

Технологический процесс литья по выжигаемым моделям похож на технологию литья, в которой используется выплавление восковой модели. Но в случае применения 3д печати используется не воск, а специальный полимер, либо пластик.

На сегодняшний день существует 2 материала, которые могут быть использованы для печати выжигаемых моделей: распространенный пластик PLA и материал WAX3D компании Filamentarno. Оба материала обладают очень низкой зольностью и уже успешно применяются для данного вида литья.

В случае печати модели из пластика PLA — модель можно только выжигать. А в случае применения материала WAX3D — можно выплавлять как обычный воск, т.к. этот материал был специально разработан для 3D печати выплавляемых моделей. Применение этого современного материала позволяет использовать напечатанные на 3D-принтере восковки для выжигания без изменения технологического процесса, что особенно важно на крупных предприятиях.

Таким образом, в производстве литейных моделей целесообразно применять 3D-печать, что позволяет увеличить скорость получения готовой продукции, уменьшить количество брака и снизить себестоимость конечного изделия. Аддитивные технологии позволяют получать формы, изготовление которых не представляется возможным традиционными методами мех. обработки.

Список литературы: 1. 3d-печать (аддитивное производство) - <https://mplast.by/encyklopedia/3d-pechat-additivnoeproizvodstvo/>. 2. Руководство по эксплуатации 3D-принтера PicASO 3D Designes PRO250 24стр - <https://docplayer.ru/21023524-Instrukciya-po-ekspluatacii-3d-printeraprusa-i3-steel.htm> 3. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 68 с.:

УДК 621

3D-ПРИНТЕРЫ. МНОГООБРАЗИЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Тесленко А. Н. (студент КИТ-20, ДОННТУ, г. Донецк)
Бондарь Е.А. (доцент кафедры НГ и ИГ, ДОННТУ, г. Донецк)

Аннотация. Рассмотрены области применения 3D-печати в жизнедеятельности человека, дано определение аддитивного производства.

Ключевые слова: 3D-принтер, 3D-печать, аддитивное производство.

3D-принтер - это устройство, которое позволяет создавать самые настоящие объекты, причем из самых разных материалов. Крючок для полотенца, компрессор для газовой турбины, чехол для смартфона – все это можно напечатать.

Первый 3D-принтер был изобретен американцем Чарльзом Халом (Charles Hull), он работал по технологии стереолитографии (SLA). Патент на технологию был оформлен в 1986 г. Принтер представлял из себя довольно габаритную промышленную установку.

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели.

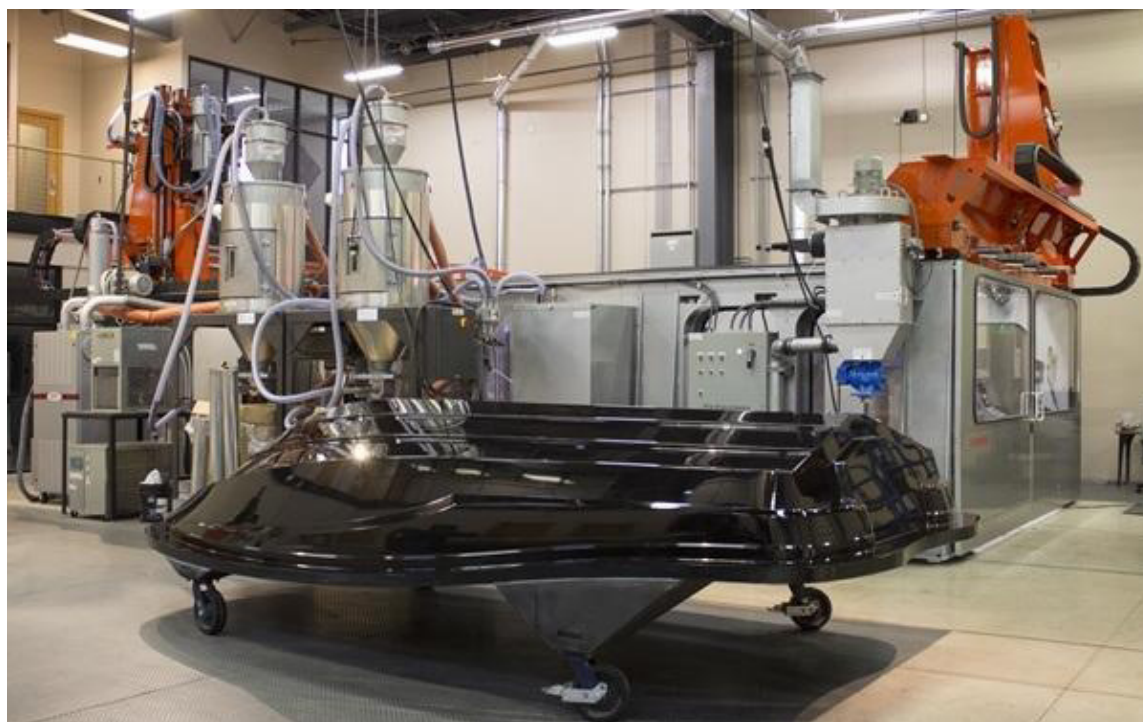


Рис. 1. Создание плавсредства с использованием 3D-печати.

Современная 3D-печать позволяет изготавливать высокоточные хирургические модели из различных материалов на основе данных компьютерной томографии реальных пациентов. С их помощью хирурги могут смоделировать предстоящую операцию,

опробовать различные подходы и сценарии, протестировать инструменты, рассчитать тайминг.

Использование 3D-технологий в строительстве может существенно облегчить этот процесс, сделать его быстрее и качественнее. Неудивительно, что в данной сфере многие компании с энтузиазмом проявляют инициативу и активно применяют новые технологии. Применение 3D принтеров в строительстве позволяет реализовывать самые сложные по своей геометрии сооружения, воплощать интересные архитектурные задумки. В частности, строить круглые дома, сооружения-петли, возводить настоящие замки или футуристичные объекты.

Использование 3D-принтеров для функционального тестирования – это один из современных методов инновационных разработок. В большинстве случаев требуется протестировать новый механизм в сборе, но изготовить отдельные компоненты в одном экземпляре слишком долго, дорого и весьма проблематично. На помощь приходят 3D принтеры с различной степенью детализации моделей.



Рис. 2. Детали для тестирования, созданные 3D принтером.

Использование технологии 3D печати в образовании позволяет получить наглядные пособия, которые отлично подходят для классных комнат любых образовательных учреждений, начиная от детских садов и заканчивая вузами.

Принтеры с технологией 3D печати постепенно осваивают сферу производства одежды, и в первую очередь – производство моделей для высокой моды. Не так давно голландский модельер Айрис Ван Херпен представила коллекцию «Напряжение», все модели которой были созданы при помощи 3D печати. Коллекция была представлена на Неделе высокой моды в Париже.

Как известно, при изготовлении ювелирных изделий самой трудоёмкой процедурой является создание восковых прототипов, которое требует колоссальных затрат времени. С появлением 3D принтеров у ювелиров появилась возможность быстро выращивать восковые модели украшений, предварительно разработанные в специальной программе.

Применяя 3D принтеры можно создавать объёмные цветные карты, точно отображающие ландшафт местности или указывающие уровни залегания различных пород.



Рис. 3. Объёмная цветная карта, созданная при помощи 3D-печати.

Вывод: 3D печать всё прочнее входит в нашу жизнь, превращаясь из узконаправленной и дорогой услуги в незаменимого помощника для профессионалов различных сфер деятельности. Доступность 3D печати позволяет проводить смелые эксперименты в архитектуре, строительстве, мелкосерийном производстве, медицине, образовании, ювелирном деле, полиграфии, изготовлении рекламной и сувенирной продукции. В этой презентации я раскрыл основные сферы применения 3D печати в наши дни. Возможно, в ближайшем будущем 3D принтер станет таким же неотъемлемым атрибутом нашего быта, как холодильник, микроволновая печь или телевизор, и мы будем с удивлением вспоминать те времена, когда люди не умели печатать одежду, посуду, обувь и прочие полезные предметы в домашних условиях, а покупали всё это в магазине.

Список литературы: 1. Posted at 16:56h in Блог (статьи, новости, обзоры) by Евгений [Электронный ресурс] – 2020. – Режим доступа: <https://3dsmart.com.ua/blog/sfery-primeneniya-3d-pechati>, свободный. 2. 3DToday.ru [Электронный ресурс] – 2020. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/industry/20-primerov-primeneniya-3d-pechati.html>, свободный.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Болотина И.О., Седнев Д.А., Жвырбля В.Ю.,
Филиппов Г.А., Долматов Д.О., Портенко В.А.
(ТПУ, ТГУ, г. Томск, Россия)

Тел./Факс: +007 (3822) 705-701; E-mail: bolotina@tpu.ru

Abstract: *The article deals with the issues of automated non-destructive testing of large-sized cast products. The concept of an automated system developed by TPU employees is presented. The principle of operation is described, the appearance of the systems of X-ray, ultrasound tomography, and optical topography is shown. The advantages of the developed systems in comparison with analogs showing.*

Key words: *non-destructive testing, X-ray tomography, ultrasound tomography, optical topography, automated system.*

Совершенствование существующих и внедрение инновационных технологий в производственные процессы, в том числе разработка новых автоматизированных систем управления оборудованием на базе современной вычислительной техники являются важнейшими задачами во многих отраслях промышленности, в том числе и в машиностроении.

На сегодняшний день применение систем автоматизированного управления распространено достаточно широко [1]. Можно сказать, что постепенно автоматизированным становится весь процесс по созданию изделий, включающий в себя конструкторскую подготовку за счет создания 3D-моделей и чертежей изделия, а также технологическую подготовку, позволяющую спроектировать оснастку и создание управляющих программ для станков с ЧПУ.

Вместе с тем, ввиду развития производственных и инструментальных возможностей на мировом уровне, отдельное применение автоматизированных систем проектирования и систем технологической обработки уже является недостаточным для существенного увеличения эффективности производства. Актуальной задачей становится интеграция всех используемых автоматизированных систем в одну комбинированную информационную систему, позволяющую управлять всеми аспектами технологического процесса.

Изделия, детали и узлы в машиностроении должны обладать повышенными характеристиками качества. Необходимо наличие высокой прочности, коррозионной и температурной устойчивости, а также большого эксплуатационного ресурса.

Одной из причин, влияющих на качество конечного изделия в процессе механообработки, является деформация образца во время обработки, некорректное построение траекторий работы ЧПУ, низкое качество самих заготовок, нарушение режима обработки.

В настоящее время в России слабо развито применение комбинированных систем и технологий интеллектуального производства, частности интегрированных решений в области контроля качества. Диагностика осуществляется отдельными инструментами контроля на начальном, конечном этапах производственного процесса, а также во время эксплуатации.

Разработанные в Томском политехническом университете (ТПУ) автоматизированная система и программный комплекс интеллектуального производства реализуют полный контроль за литыми крупногабаритными изделиями. Созданы технологии и средства автоматизированного неразрушающего контроля, при этом управление, анализ результатов и адаптация параметров осуществляются централизованно посредством комплексного программного обеспечения.

Концепция участка автоматизированного неразрушающего контроля представлена на рисунке 1.

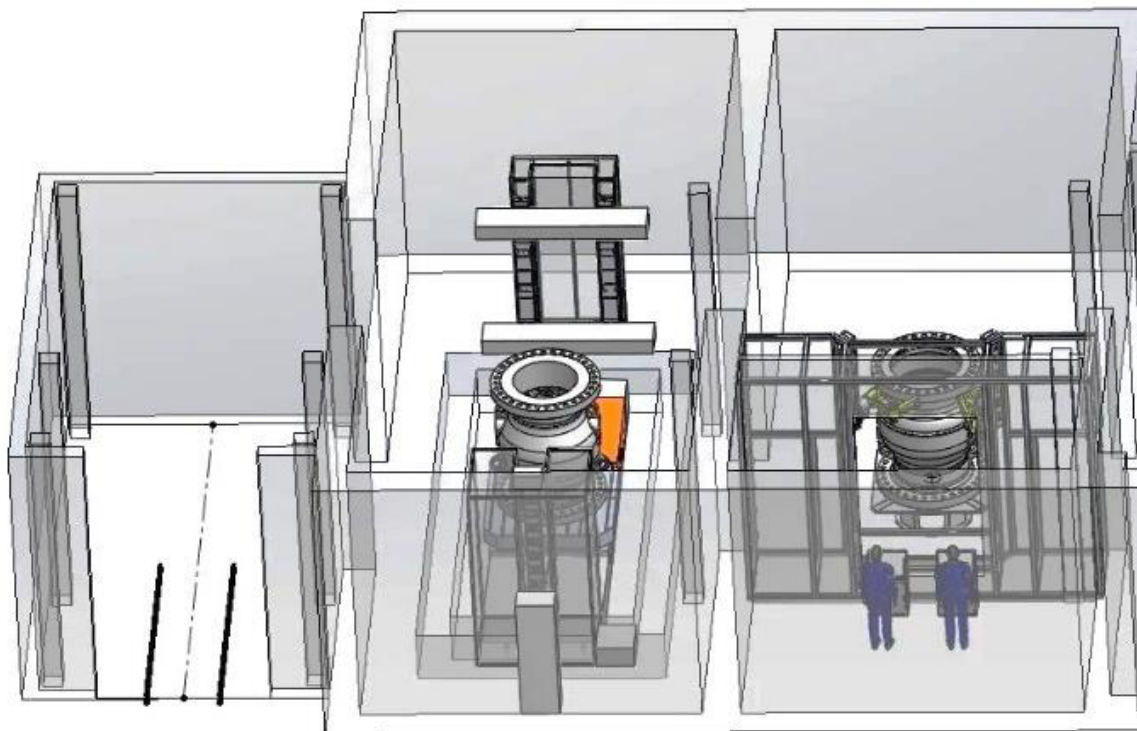


Рис. 1. Концепция участка автоматизированного неразрушающего контроля

Для контроля качества изделий (узлов, компонентов, деталей) в машиностроении на 1 этапе проводится рентгеновский контроль. Осуществление диагностики основано на принципах цифровой рентгенографии, которая на сегодняшний день практически не распространена для промышленных целей. В результате этого появилась возможность улучшить характеристики по точности детектирования существующих дефектов в узлах и элементах конструкций и добиться практически мгновенной визуализации результатов для оптимальной оценки состояния изделия оператором. Кроме того, появилась возможность хранения и анализа данных при помощи цифровых устройств.

Результаты работы обеспечивают создание комплексной связи, позволяющей оператору получать точную информацию и проводить эффективную обработку, а также контроль качества изделий. Так, на 1 этапе проведения контроля компонентов и узлов получаемые данные от рентгенографического контроля с высокой точностью, отразят месторасположение имеющихся дефектов.

Цифровая рентгенография обладает высокой точностью и достоверностью получаемых результатов. Она позволяет получать томографические результаты, за счет

реконструкции полученных данных. Цифровая рентгенография дает возможность оптимизировать и снизить затраты на проведение выборочного контроля, а также провести обратное проектирование, при котором полученные объемные данные могут быть сопоставлены с техническими требованиями.

Данное решение является весьма важным, поскольку результаты имеют цифровой вид, это позволит провести интеграцию разрабатываемого модуля в комбинированную систему. Кроме того, появляется возможность проводить качественный и количественный анализ результатов контроля. На рисунке 2а показана система цифровой рентгеновской томографии, разработанной автоматизированной системы.

На 2 этапе реализована технология и средства оптического роботизированного сканирования. Разработанная автоматизированная система решает проблему, связанную с появлением незапланированных деформаций изделий. На текущем этапе развития технологий для контроля соблюдения заданных геометрических параметров изделий применяются визуальные и измерительные методы контроля. Современные решения предполагают использование дополнительных измерительных средств, таких как оптические профилометры. На международном уровне в данной области работают компании как Nikon, Brucker, Sensofar-Tech, LaserFocusGroup. Они производят

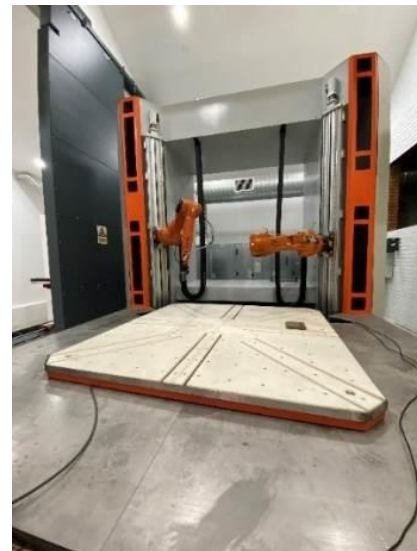


Рис. 2. Внешний вид автоматизированной системы:
а – система цифровой рентгеновской томографии
б – система ультразвуковой томографии и оптической топографии

высококачественные профилометры для контроля качества поверхности материалов, позволяющие построить изображения с высоким разрешением. Существенным отличием разработанного в ТПУ модуля оптического сканирования от зарубежных аналогов является то, что в основе анализа данных лежит технология сопоставления получаемых результатов с заданной на начальном этапе САД-модели создаваемого изделия, а также проведение сканирования при помощи роботизированного манипулятора.

В результате этого существенно повысилась точность результатов оптического контроля за счет отсутствия человеческого фактора при проведении визуального контроля и анализа данных. Применение роботизированного манипулятора является необ-

ходимым условием в связи со сложностью геометрической формы крупногабаритных объектов контроля (рис. 2б).

Кроме того, за счет интеграции в комплекс интеллектуального производства разработанный модуль оптической топографии непосредственно связан с модулем ультразвуковой томографии. Предлагаемое решение ультразвукового томографического контроля направлено на проведение диагностики изделий на 3 этапе. Применяемые отечественные системы ультразвукового контроля, основаны, как правило, на эхо-импульсном или теневом методах [2]. Преимущественно они не обладают возможностью визуализации и реконструкции объекта контроля, что существенно снижает точность диагностики. Доступное на рынке зарубежное оборудование способно восстанавливать трехмерную реконструкцию объекта на основе полученных ранее данных. Но оно не позволяет осуществлять трехмерную визуализацию в реальном времени, что существенно снижает скорость проведения инспекций. Примером ведущих зарубежных фирм, выпускающих ультразвуковые системы контроля являются: AREVA, Sonotron NDT, SoNet, SonaTest, OLYMPUS, Eclipse Scientific, General Electric. В России разработкой систем ультразвукового контроля занимаются организации: Научно-Производственный Центр «Кропус», НПЦ "ЭХО+".

Разработанная в ТПУ система ультразвуковой томографии позволяет производить контроль при помощи роботизированного манипулятора (рис. 2б). Наличие связи с модулем оптической топографии существенно повысит достоверность получаемых результатов. Учитывая проведенный анализ соответствия геометрических параметров технологическим требованиям, точная CAD-модель компонента позволяет построить траекторию ультразвукового сканирования роботизированным манипулятором таким образом, чтобы соблюдалось ортогональное взаимное расположение поверхности и направления ввода акустической волны. Кроме того, модуль ультразвукового контроля осуществляет томографическую реконструкцию объекта контроля в режиме реального времени, что является уникальным решением по сравнению с зарубежными и отечественными аналогами.

Для контроля сплошности конечного изделия был разработан инновационный метод ультразвуковой томографии изделий сложной формы. Применяемые традиционные методы ультразвукового контроля качества изделий в России основываются на использовании одноэлементных датчиков, которые не позволяют в дальнейшем реконструировать получаемые данные. Уровень развития техники в области ультразвукового контроля обозначил тенденцию использования многоэлементных фазированных решёток, что существенно повышает точность полученных данных. Также при помощи создания определенных режимов излучения акустических волн становится возможным детальное исследование изделия в каждой точке с целью дальнейшей реконструкции.

Был разработан метод и установка автоматизированного ультразвукового контроля с возможностью визуализации и реконструкции данных контроля объектов произвольной формы. Созданный метод ультразвуковой томографии за счет применения передовых технологий цифровой обработки сигналов позволяет достичь качество детализации результатов контроля сравнимого с рентгенографическим контролем. Особенность метода и прибора заключается в применении технологии фокусирования с синтезированной апертурой (SAFT) и решетки с цифровым фокусом (DFA), которая является наиболее современной технологией фазированных решеток [3].

В автоматизированной системе выполнена интеграция всех описанных модулей в комбинированную систему за счет разработки специального программного обеспечения.

Таким образом, создано комплексное технологическое решение, потенциально применимого для обширного спектра задач неразрушающего контроля в машиностроении. В сравнении с традиционными средствами решение основано на применении передовых технологий интеллектуальных автоматизированных систем. Благодаря этому стало возможным создание единой комбинированной системы, обеспечивающей эффективный контроль качества изделий, что существенно влияет на повышение производительности контроля, позволяет снизить долю возникающего брака, повысить качество изделий и сократить время проведения технологических операций.

Разработанная автоматизированная система внедрена в производственную линию ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках Государственного задания «Наука» (базовая фундаментальная) № проекта FSWW-2020-0014.

Список литературы: 1. Gorski F. Knowledge based engineering as a condition of effective mass production of configurable products by design automation / F. Gorski, P. Zawadzki, A. Hamrol // Journal of Machine Engineering. – 2016. – Vol. 16. – No. 4. 123с. 2. Венгринович В.Л. Трехмерная томографическая реконструкция литейных изделий по ограниченному модельным и экспериментальным данным // Литье и металлургия. – 2009. – № 1. С. 177-122. 3. Bolotina I.O., Kroening H.M., Kvasnikov K.G., Sednev D.A., Sumtsova O.V. Acoustic field simulation of an antenna array at scanning by the SPA method for modern ultrasonic testing technologies // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol.1040. – p. 959-964.

УСТОЙЧИВОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЁЖНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 110Г13Л

Бутенко В.И., Демешкин А.С., Тарасов А.В.
(кафедра ТМ ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Аннотация. Приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований устойчивости операций токарной обработки деталей из стали 110Г13Л, позволившие определить пути повышения их технологической надёжности, а также прочности и стойкости режущей пластинки резца.

Ключевые слова: резец, нормальные напряжения, динамическая жёсткость, нормальное распределение, вероятность отказов.

Процесс токарной обработки деталей из стали 110Г13Л характеризуется высокими значениями нормальных напряжений на передней поверхности резца, слабо развитой застойной зоной, малыми значениями усадки стружки и её скалыванием и непостоянством коэффициента трения на контактных поверхностях инструмента с обрабатываемым материалом. Всё это вызывает значительные вынужденные колебания тех-

нологической системы, ухудшает качество обработанной поверхности детали, снижает точность её размеров, существенно уменьшает стойкость используемого инструмента из-за сколов режущей кромки. Неустойчивый характер операций токарной обработки деталей из стали 110Г13Л приводит к снижению их технологической надёжности.

Выполнены теоретико-экспериментальные исследования устойчивости процесса токарной обработки стали 110Г13Л при консольном закреплении детали в патроне токарного станка (рис. 1), позволившие получить формулу динамической жёсткости технологической системы μ , в которой учитывается статическое упругое отжатие системы f_{cm} , динамическое

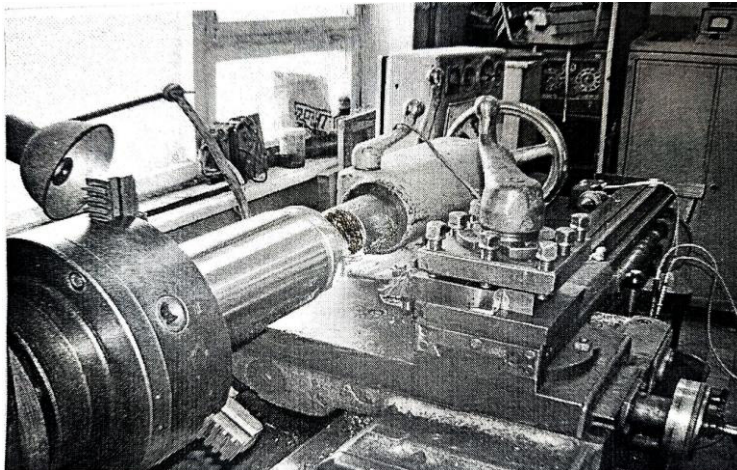


Рис. 1. Общий вид станка с консольно закреплённой в патроне деталью

отжатие, её f_{δ} , обусловленное радиальной составляющей силы резания, и амплитуду колебаний обрабатываемой детали A , вызванную сколами режущей кромки резца:

$$\mu = 1 + \frac{f_{\delta} - A}{f_{cm}}. \quad (1)$$

Как показали результаты выполненных экспериментальных исследований, динамическая жёсткость технологической системы μ характеризует не только устойчивость процесса токарной обработки, но и оказывает влияние на точность обработки при различных схемах базирования детали. При этом с уменьшением амплитуды колебаний A динамическое отжатие f_{δ} также уменьшается, но не пропорционально (рис. 2). В результате с уменьшением величин f_{δ} и A динамическая жёсткость технологической системы μ увеличивается и процесс обработки приобретает более устойчивый характер.

Учитывая, что от устойчивости процесса токарной обработки деталей из стали 110Г13Л зависит технологическая надёжность проектируемых операций, были определены факторы, влияющие на величины f_{δ} и A . Исследования процессов токарной обработки деталей из сталей 110Г13Л и 45 на различных режимах с использованием резцов с различной геометрией заточки показали, что основными факторами, влияющими на f_{δ} и A , являются прочность режущей пластины резца и принятые режимы резания и геометрия заточки инструмента. В связи с этим была рассмотрена модель вероятности безотказной работы резца при обработке деталей из стали 110Г13Л, которая базируется на предположении о том, что нагрузка на переднюю поверхность инструмента и прочность режущих кромок являются случайными величинами.

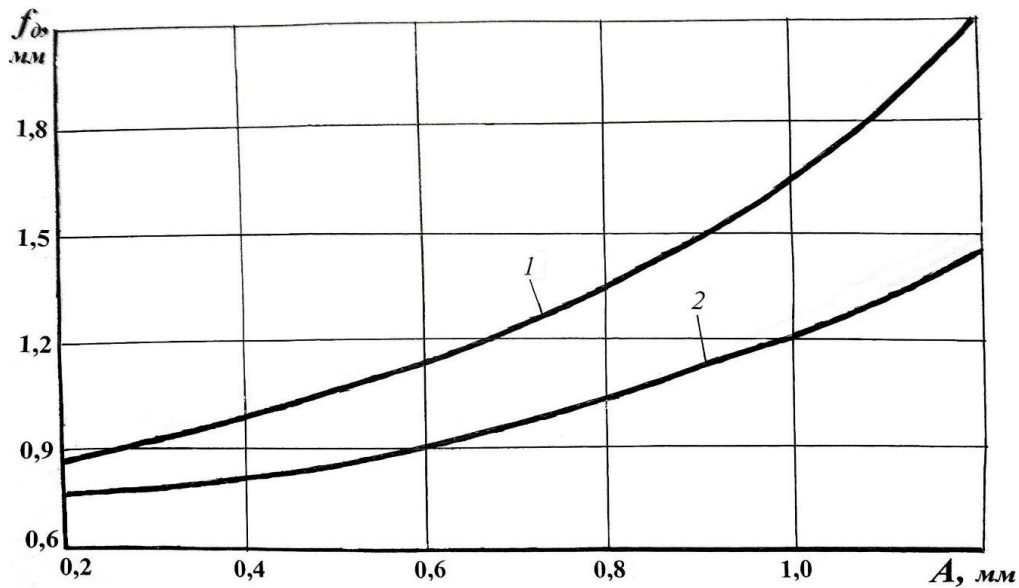


Рис. 2. Зависимости динамического отжата f_0 технологической системы от амплитуды колебаний обрабатываемой детали A : кривая 1 – сталь 110Г13Л; кривая 2 – сталь 45

Тогда распределение плотности вероятности выхода инструмента из строя $P(t)$ вследствие высокого нормального напряжения в опасной точке на передней поверхности $\sigma_{оп}$ и предела прочности инструментального материала σ_u может быть представлена кривыми нормального распределения (рис. 3), построенным по результатам проведенного анализа использования в производственных условиях твердосплавных и металлокерамических режущих пластин при токарной обработке деталей из стали 110Г13Л на машиностроительных предприятиях Ростовской области (Россия).

В общем случае учёт влияния сколов режущей кромки инструмента на вероятность безотказной работы его $P(t)$ может быть представлено функцией трёх переменных [1]:

$$P(t) = P_m(t) \cdot P_k(t) \cdot P_p(t), \quad (2)$$

где $P_m(t)$ – вероятность безотказной работы режущей пластины, связанная с процессами трения контактирующих поверхностей;

$P_k(t)$ – вероятность безотказной работы, связанная с отказами по параметрам прочности инструментального материала и обусловленная скалыванием режущей кромки;

$P_p(t)$ – вероятность безотказной работы, связанная с отказами по параметрам прочности инструментального материала и вызванная хрупким разрушением режущей пластинки.

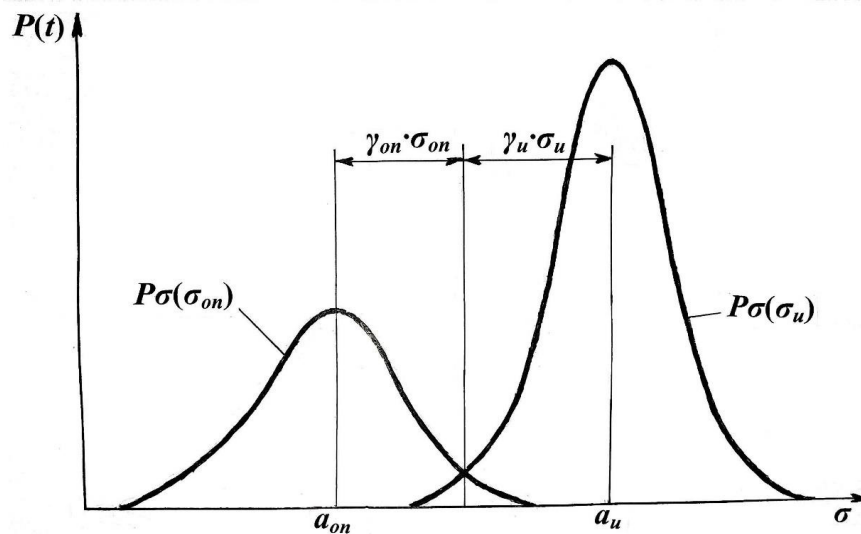


Рис. 3. Распределение плотности вероятности выхода инструмента из строя $P(t)$ от нормального напряжения на его передней поверхности σ_{on} и предела прочности инструментального материала σ_u

Для определения вероятностей $P_m(t)$, $P_k(t)$ и $P_p(t)$ могут быть использованы зависимости, полученные в работе [1].

Плотность вероятности отказов при выполнении операций токарной обработки деталей из стали 110Г13Л по причине скола режущей кромки резца $\varphi_k(t)$ определится по формуле:

$$\varphi_k(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t_p), \text{ где } \lambda = \frac{30 \cdot V \cdot S}{\pi D \cdot L} \exp \left[-0,5 \frac{(\sigma_u - \sigma_{on})^2}{\sigma_u^2 \cdot v_2^2 + \sigma_{on}^2 \cdot v_1^2} \right], \quad (3)$$

где t_p – глубина резания;

V – скорость резания;

S – подача инструмента или детали;

D – диаметр обрабатываемой детали;

σ_u – параметр прочности инструментального материала;

v_1 – коэффициент вариации твёрдости обрабатываемого материала;

σ_{on} – нормальное напряжение в опасной точке на передней поверхности резца;

v_2 – коэффициент вариации предела прочности инструментального материала.

Анализ формулы (3) свидетельствует о том, что для определения технологической надёжности операций токарной обработки деталей из стали 110Г13 необходимо учитывать вариации всех внешних факторов, действующих в зоне резания. От их совместного действия может быть получен комбинированный закон распределения плотности вероятности безотказной работы технологической системы или операции [2, 3] при обработке деталей из стали 110Г13Л, которые во многом определяются стойкостью используемого инструмента и прочностью материала его режущей части.

На рис. 4 представлены графики функции плотности вероятности стойкости резца с пластинкой из сплава Т15К6 $\varphi(T)$ при вариации предела прочности твёрдого сплава v_{HB} . Представленные на рис. 4 зависимости могут быть использованы при выборе материала режущей части инструмента и модифицировании поверхностей режущих пластин резцов [4], а также при выборе их конструкции и геометрии заточки [1].

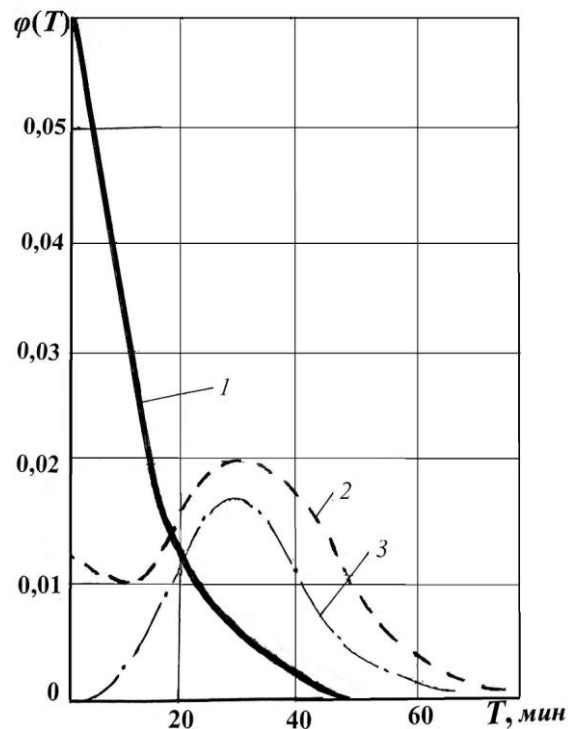


Рис. 4. Распределение плотности вероятности стойкости $\varphi(T)$ при обработке стали 110Г13Л резцом с пластинкой твёрдого сплава Т15К6 при вариации предела прочности твёрдого сплава ν_{HB} : 1 – 25; 2 – 20; 3 – 15 ($V = 1,15$ м/с; $S = 0,15$ мм/об; $t = 1,5$ мм; $L = 30$ мм; $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = 12^\circ$)

Таким образом, результаты выполненных исследований позволяют определять условия обеспечения технологической надёжности операций токарной обработки деталей из стали 110Г13Л, которые зависят от прочностных характеристик инструментального материала режущей части резца. При этом повышение устойчивости технологической операции и системы в целом может быть достигнуто за счёт использования твёрдосплавных, металлокерамических и иных режущих пластин повышенной прочности с возможным модифицированием их рабочих поверхностей, а также путём регулирования режимов резания и геометрии заточки резца при проектировании операций токарной обработки деталей из стали 110Г13Л.

Список литературы: 1. Шведенко, В.Н. Теоретическое прогнозирование вероятности безотказной работы сборного металлорежущего инструмента / В.Н. Шведенко, А.Ю. Михайлов, А.А. Хрушков // Сборник научных трудов молодых учёных КГТУ. – Выпуск 3. – Кострома: Изд-во КГТУ, 2002. – С. 139 – 142. 2. Фёдоров, В.П. Надёжность и диагностика технологических систем: учеб. пособие / В.П. Фёдоров, М.Н. Нагоркин. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2013. – 113 с. 3. Нагоркин, М.Н. Прогнозирование и диагностика технологических и робототехнологических систем на основе теории информации / М.Н. Нагоркин, В.П. Фёдоров, Т.А. Морголенко, Е.В. Ковалёва // Вестник БГТУ. – 2013. – №3(39). – С. 134 – 140. 4. Бржозовский, Б.М. Упрочнение режущего инструмента воздействием низкотемпературной плазмы комбинированного разряда / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, Е.П. Зинина. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. – 176 с

ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ

Базров Б.М. (ИМАШ им. А.А.Благовраова РАН, г. Москва, Россия)

Тел. +7 (499) 135-55-21; E-mail: modul_lab@mail.ru

Abstract: *The article discusses the application of methods of additive technologies used in the production of parts; the areas of their application, advantages and disadvantages are shown. The main disadvantages of additive technologies are noted: low precision of parts and productivity of their manufacture. The influence of additive technologies on the labor intensity of technological processes for manufacturing parts, the structure of the machine park, the design of machine tools is shown.*

Key words: *additive technologies, method, product, detail, precision, production, material, machine, blanks.*

В последнее время в производстве деталей все шире применяют аддитивные технологии, такие как [1-3]:

- селективное лазерное сплавление,
- прямое лазерное спекание металлов,
- электронно-лучевое плавление.

Метод селективного лазерного сплавления

Применяется в автомобилестроении для создания прототипов, в аэрокосмической области для печати трубопроводов и других частей, в производстве инструментов.

Преимущества:

- широкий выбор материалов печати;
- возможность построения изделий со сложной геометрией или высоким уровнем детализации;
- безотходное производство.

Недостатки:

- дороговизна технологии;
- не подходит для начинающих печатников;
- грубая поверхность готового изделия, требующая последующей обработки.

Метод прямого лазерного спекания металлов

Прямое лазерное спекание металлов используется в аэрокосмической и промышленной отраслях.

Преимущества:

- высокое разрешение печати (до 20 микрон);
- возможность печати объектов со сложной структурой и геометрией;
- высокие механические качества готового изделия;
- безотходное производство;
- большое количество материалов для печати: нержавеющая сталь, алюминий, титан, никель, кобальт-хром, и драгоценные металлы, не считая сплавов.

Недостатки:

- невысокая скорость печати;

Метод электронно-лучевого плавления.

Применяется в автомобилестроении (производство запчастей), аэрокосмической отрасли (производство конструктивных элементов).

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Преимущества:

- высокая плотность (и, следовательно, прочность) изделий благодаря полному расплавлению порошка;
- ускоренный процесс печати;
- не спеченный порошок можно использовать повторно;
- высокая точность печати, благодаря использованию специальных магнитных зеркал;
- недорогие и доступные материалы;
- высокая скорость печати.

Недостатки:

- небольшой объем печати (макс. диаметр 350 мм и высота 380 мм);
- ограниченный выбор материала (только титановые или хром-кобальтовые сплавы);
- ограничения в геометрии моделей.

В целом, к преимуществам аддитивных технологий относятся:

- повышение качества деталей за счет возможности обеспечения теоретически в любой точки детали требуемых эксплуатационных характеристик материала, например, прочности, вязкости и др;
- снижение расходов материала заготовки, т.к. последняя получается методом наращивания материала.
- повышение точности заготовок;
- сокращение сроков освоения производством деталей новых конструкций, за счет быстрого получения прототипа;
- возможность изготовления детали сложной конфигурации.

К наиболее важным недостаткам аддитивных технологий относятся невысокая точность изготовления деталей (до 20мкм) и производительность их изготовления по сравнению с обработкой на станках.

Рассмотрим применение аддитивных технологий в производстве деталей, принимая во внимание их преимущества и недостатки, а так же конструкции, материалы, качество и количество изготавливаемых деталей.

Низкая точность изготовления деталей ограничивает номенклатуру их изготовления аддитивными технологиями.

При изготовлении деталей высокой точности применением аддитивной технологии позволяет использовать заготовки с высокой точностью, следовательно, с малыми припусками, что существенно снижает трудоемкость изготовления деталей.

Низкая производительность изготовления деталей аддитивными технологиями ставит вопрос о целесообразности их широкого применения.

Попытки объединить в одной технологической системе выращивания заготовки детали и ее обработки сужает область ее применения из-за низкой производительности выращивания заготовки.

Такая технологическая система может быть эффективна при прототипировании.

В связи с изложенным, наибольший эффект от применения аддитивных технологий следует ожидать в заготовительном переделе, позволяя получить точные заготовки с оптимальными эксплуатационными характеристиками.

В некоторых случаях можно ожидать замену термообработки аддитивной технологией.

Повышение точности заготовок, изготовление деталей невысокой точности с помощью аддитивных технологий может повлиять на структуру станочного парка, сводя к минимуму долю станков для предварительной обработки и повышая долю станков для изготовления деталей высокой точности.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

В процессе развития станкостроения были созданы станки для изготовления соответствующих поверхностей деталей, например, токарные станки, круглошлифовальные станки, сверлильные, расточные станки – для изготовления, главным образом, поверхностей вращения; фрезерные, плоскошлифовальные, строгальные станки - для изготовления плоских поверхностей и т.д.

С другой стороны, станки создавались для изготовления деталей такой конструкции, которая обеспечивает свободу доступа к изготавливаемым поверхностям.

Последнее привело к усложнению конструкции создаваемых изделий, т.к. конструктор, стремясь создать конструкцию изделия технологичной, детали сложной конфигурации разделяет на группы простых деталей. Это приводит к повышению трудоемкости изготовления деталей из-за увеличения их количества и трудоемкости сборки изделия из-за увеличения числа соединения деталей в изделии.

Применение аддитивных технологий позволит изготавливать детали сложной конфигурации, которые можно разделить на три группы:

- изготавливаемые полностью на станках;
- изготавливаемые частично на станках;
- изготавливаемые полностью с помощью аддитивных технологий.

При изготовлении деталей сложной конфигурации на станках из-за трудностей к доступу обрабатываемых поверхностей детали в конструкциях станков появятся элементы консольного типа, несущие обрабатывающие инструменты. В связи с этим возникнут проблемы с обеспечением жесткости таких элементов, повышение виброустойчивости и др., что существенно усложнит конструкции таких станков.

В заключении можно отметить следующее:

1. К основным преимуществам применения аддитивных технологий в производстве деталей следует отнести возможность получения эксплуатационных характеристик материала в любой «точке» детали, получение высокой точности заготовок, изготовление деталей сложной конфигурации, быстрое получение прототипа при выпуске новых деталей.
2. К основным недостаткам производства деталей с помощью аддитивных технологий относятся невысокая точность и производительность изготовления деталей.
3. Широкое применение аддитивных технологий следует ожидать в заготовительном переделе при изготовлении деталей невысокой точности.
4. Широкое применение аддитивных технологий в производстве деталей может изменить структуру станочного парка, за счет снижения доли станков предварительной обработки деталей, увеличения доли станков высокой точности.
5. Изготовление на станках деталей сложной конфигурации может потребовать значительных изменений в конструкциях станков.

Список литературы 1. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении/ Нагайцев М.В., Довбыш В.М. // пособие для инженеров – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». 2015. 220 с. **2.** Шишковский, И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения – СПб.: Питер, 2016. - 400с.: ил. **3.** Горбатов И.В., Орлов Ю.А., Антюфеев В.А., Орлова Н.Ю., Тельгереева Т.В. Определение геометрической точности и шероховатости поверхности малогабаритных деталей круглого и квадратного сечения, получаемых в зависимости от расположения в рабочем пространстве принтера по технологии селективного лазерного плавления из стали марки 12X18H10T//Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей» № 1, 2019.

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА
ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ И КАРКАСНЫХ СТОЛБИКОВЫХ МАТРИЦ С
НАНЕСЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ПЛЕНКАМИ

Горох Г.Г., Захлебаева А.И., Лозовенко А.А., Иджи М.М., Федосенко В.С.

(БГУИР, г. Минск, Беларусь,)

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

Abstract: *A critical analysis of the methods of creating porous and columnar matrices with deposited functional films of polyvinylidene fluoride from solutions and annealed in the process of polythermal annealing is carried out. Technological modes of their formation have been optimized in order to obtain intelligent materials with adaptive properties, their properties have been studied, and the fields of application of the created intelligent materials have been determined.*

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

В основе исследования лежит идея создания интеллектуальных материалов путем синергетического использования упорядоченных наноструктурированных объектов и функциональных материалов в виде полимеров, полупроводников и металлоксидов, способных к регистрации и трансформации физических воздействий [1,2]. Реализация этой идеи связана с поиском конкретных соединений и способов их введения в нанопоры или столбиковые наноструктуры для получения интеллектуальных композитов, обладающих термо-, опто-, тензо- и другими видами чувствительности. Ранее проведенные исследования [3-5] показали зависимость модуля Юнга, коэффициента теплопроводности и других физико-механических характеристик нанопористого анодного оксида алюминия (АОА) от его объемной пористости. Использование указанного наноструктурированного материала в качестве связующего звена между монолитной (например, кремниевой) подложкой и осаждаемым на ней функциональным материалом (полимером, полупроводником и т.д.) обеспечит решение нескольких проблем. За счет уменьшения градиента коэффициентов термического расширения подложки и функционального слоя снижается концентрация межфазных термомеханических напряжений и вероятность адгезионного разрушения. Особенности наноструктурированных материалов - малый характерный размер структурных составляющих (проводов, колонн, зерен, столбиков, волокон, включений и т.д., размеры которых находятся в интервале 1-2 нм ÷ ~ 100 нм), многообразие поверхностей раздела, возможное наличие неравновесных фаз, контактных состояний, сегрегаций и внутренних напряжений определяют высокий уровень их физико-механических и физико-химических свойств, и тем самым открывают широкие перспективы их применений во все новых областях, в том числе в качестве интеллектуальных материалов. Интегрированные сенсоры и исполнительные элементы (измерительные и исполнительные устройства) составляют основу промышленных систем управления. К ним предъявляются повышенные требования, обусловленные, как правило, тяжелыми условиями эксплуатации и необходимостью получения достоверной измерительной информации, обеспечения точного управления технологическими процессами и повышенной надежности [6-8].

В работе проведена разработка методов формирования пористых матриц из модифицированного АОА и каркасных столбиковых структур, адаптированных к нанесению функциональных полупроводниковых и полимерных покрытий.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

Апробированы различные методы формирования функциональных слоев на пористых матрицах и исследованы их характеристики. Разработаны электрохимические методы формирования щеткообразных каркасных матриц из вертикальных наноструктур и исследование их модифицированных форм с различными функциональными покрытиями. Апробированы химические и электрохимические методы создания наноструктур на разных типах подложек и функционализация их поверхности комплексными металлооксидными соединениям и полимерными пленками. Проведен критический анализ методов создания пористых и каркасных матриц для нанесения функциональных пленок и оптимизированы технологические режимы их формирования с целью получения интеллектуальных материалов с адаптивными свойствами, исследованы их свойства и определены области применения созданных интеллектуальных материалов.

В качестве пористых матриц для нанесения функциональных покрытий использовали низкопрофильные матрицы АОА, сформированные в 0,4 М растворе винной кислоты. Для приготовления образцов использовали кремниевые пластины со слоем алюминия толщиной 1,5 мкм, напыленным магнетронным методом. Электрохимическое анодирование образцов осуществляли в две стадии в гальваностатическом режиме при $j = 6 \text{ мА/см}^2$. Напряжения стационарного роста пор составляло 210 В. Электрические режимы анодирования задавали с помощью системного источника питания постоянного тока Keysight N5751A, регистрацию и мониторинг *in situ* параметров процесса электрохимического анодирования проводили с помощью цифрового мультиметра Keysight 34470A, соединенного посредством USB с персональным компьютером с установленным программным обеспечением Bench Vue.

В качестве импрегнирующего наполнителя мы использовали раствор поливинилденфторида (ПВДФ) марки Ф2МД в диметилформамиде. Состав ПВДФ представлял собой тягучую жидкость, которую предварительно растворяли в деметилформамиде в пропорции 1:3, тщательно размешивали, давали отстояться, чтобы вышли пузырьки и наносили на матрицу дозатором с объемом капли 0,1 мл от одной до пяти капель. После центрифугирования при $v \approx 3000 \text{ об/мин}$ в течение 20 сек. образцы подвергали многостадийной сушке и термообработке. Морфологию поверхности и поперечные сколы полученных структур изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сканирующих электронных микроскопах Hitachi S-806 при ускоряющем напряжении 20 кВ и Hitachi S4-800 при ускоряющем напряжении 15 кВ.

На рисунке 1 представлена СЭМ изображения сечения исходной матрицы АОА, а также исследуемых пленок с пленками ПВДФ. После нанесения формируется тонкая пленка ПВДФ толщиной порядка 180–450 нм, заполняющая поры АОА. Поверхность пленки равномерная, однако остались участки АОА покрытые ПВДФ. Полимер заполнил внутренний объем пор и остался частично на поверхности. Наблюдается вытягивание полимера в порах. Поверхность пленки равномерная, матрица АОА покрыта равномерно, но наблюдаются неравномерность по толщине пленки. Слой ПВДФ уплотняется над матрицей АОА общая толщина составляет около 2 мкм, наблюдается вытягивание полимера над порами.

Морфологию поверхности образцов, шероховатость R_a и силу адгезии F_a образцов исследовали на атомно-силовом микроскопе Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме PeakForce QNM (Quantitative Nanoscale Mechanical Mapping) с использованием стандартного кремниевого кантилевера типа NSC-11 (производство Mikromash, Эстония) с радиусом закругления острия 10 нм, с жесткостью консоли 5,93

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Н/м. Жесткость консоли зонда специально аттестовали с использованием опций программного обеспечения АСМ. Изменение радиуса закругления острия контролировали в процессе исследования. Поскольку в режиме PeakForce QNM происходит постоянный контроль силы, с которой зонд воздействует на образец, глубина деформации образца очень мала (1-3 нм). В каждой точке изображения зонд делает кривые «подвода-отвода» (силовые кривые), по которым автоматически идет пересчет с учетом характеристик используемого зонда и определение механических свойств (модуль упругости, адгезия и др.). Разрешающая способность АСМ по XY – $\pm 0,2$ нм, по Z – $\pm 0,2$ нм. Погрешность пьезотрубки микроскопа 2%.

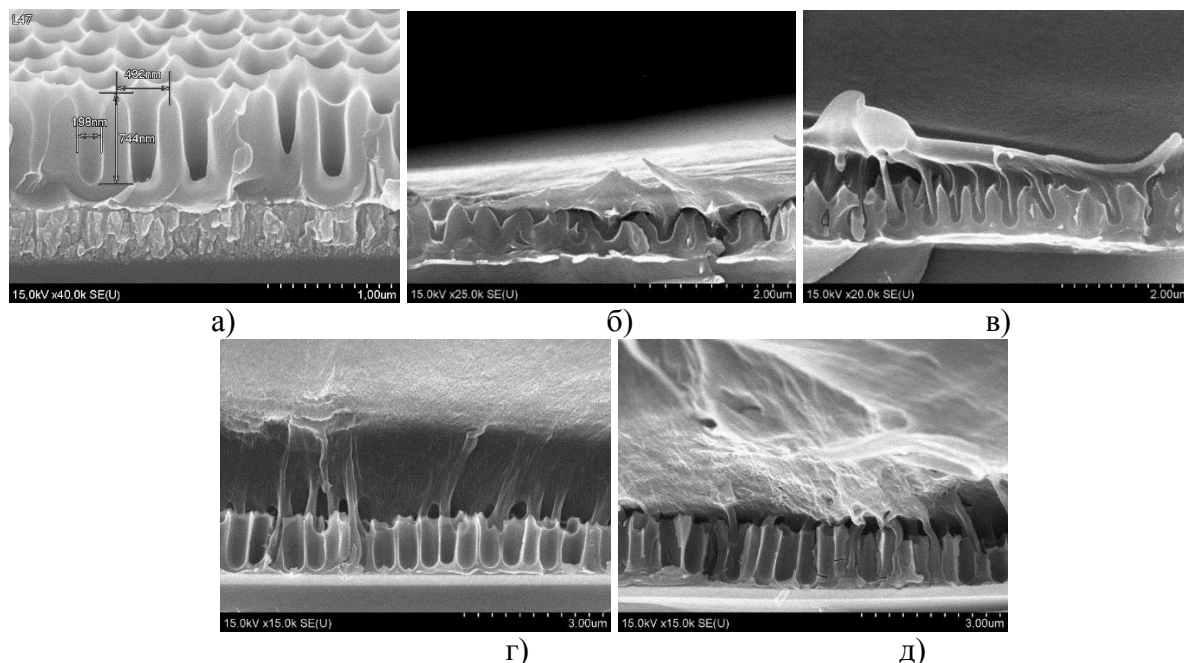


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения поверхности исходной матрицы АОА (а), а также матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ объемом 0,1 мл центрифугованием при $v \approx 3000$ об/мин в течение 20 сек. (б,в) и объемом 0,5 мл центрифугованием при $v \approx 3000$ об/мин в течение 20 сек. (г,д)

Коэффициент и силу трения исследовали в режиме Contact Mode Lateral Force с использованием стандартного кремниевого кантилевера типа NSC-11 (производство Micromash, Эстония) с начальным радиусом закругления острия 200 нм, с жесткостью консоли 5,93 Н/м. В процессе испытаний нормальная нагрузка на зонд составила 0,623 мкН, остальные параметры поддерживались постоянными: поле износа 1x1 мкм, 50 циклов при каждой нагрузке, 128x128 точек, скорость 1,99 мкм/с.

В таблице 1 приведены средние значения рассчитанных из зависимостей силы и коэффициента трения для исследуемых пленок.

Таблица 1 - Средние значения силы и коэффициента трения

Образец	ктр	Fтр, нН
с 0,1 мл ПВДФ (при R=200 нм)	0,187±0,047	117,9±29,7
с 0,5 мл ПВДФ (при R=200 нм)	0,132±0,015	82,2±9,2
с 0,1 мл ПВДФ (при R=10-80 нм)	0,533±0,093	330,4±58,5

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента трения покрытия ПВДФ на матрицах АОА для разной толщины покрытия (0,1мл и 0,5 мл) при измерении кантелевером с радиусом закругления 200 нм и 10-80 нм. Исследование механических свойств пленок ПВДФ разного объема на пористых матрицах проводили методом наноиндентирования. Для получения зависимостей использовался наноиндентор модели 750 Ubi (Hysitron, США) с наконечником Берковича с радиусом закругления 100 нм. На каждом образце было выполнено по 9 индентирований.

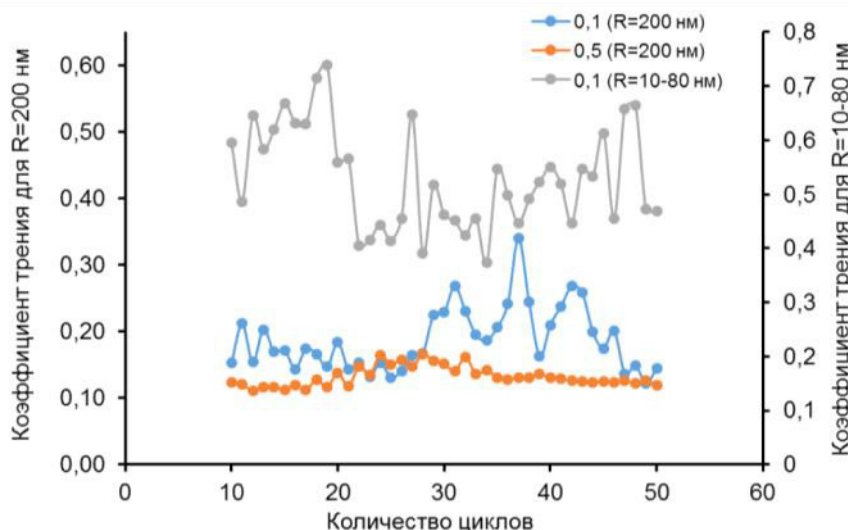


Рис. 2. Зависимости коэффициента силы трения покрытия ПВДФ на матрицах АОА для разной толщины покрытия (0,1мл и 0,5 мл) при измерении кантелевером с радиусом закругления 200 нм и 10-80 нм.

Сила адгезии $F_{ад}$ определялась как сила отрыва $F_{отр}$ наноиндентора от поверхности. На кривой индентирования значению силы отрыва соответствует максимальное отрицательное значение по оси нагрузки. Удельная поверхностная энергия (работа адгезии) определялась по формуле, приведенной ниже.

Удельная поверхностная энергия (работа адгезии) определялась согласно теории Джонсона-Кендалла-Робертса для упругих адгезионных контактов по формуле:

$\gamma = 2F_a/3(2\pi R)$, где F_a – сила адгезионного взаимодействия между наконечником зонда и поверхностью, Н; R – радиус наконечника зонда, м. Результаты определения модуля упругости и микротвердости приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Средние значения модуля упругости и микротвердости пористой матрицы АОА с нанесенной пленкой ПВДФ

Образец	E, ГПа	H, ГПа
Исходная матрица	32,59±12,51	0,44±0,29
Образец с 0,1 мл ПВДФ	38,76±4,75	0,77±0,09
Образец с 0,5 мл ПВДФ	24,54±12,39	0,30±0,15

Результаты исследований силы адгезионного взаимодействия между наконечником зонда и поверхностью пленки ПВДФ на пористых матрицах АОА от приложенной нагрузки, а также рассчитанной удельной поверхностной энергии исследуемых пленок ПВДФ на пористых матрицах для толщины покрытия 0,1мл и 0,5 мл, показали, что более толстые пленки обладают более высокими значениями удельной энергии.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

Разработан метод изготовления планарного датчика давления в виде пьезочувствительного композитного покрытия, предусматривающий формирование нанопористой керамической матрицы и наполнение пор полимерным пьезоэлектриком. Предложена методика расчетного прогнозирования пьезочувствительности датчика с использованием модели тонкого двухслойного покрытия, размещенного на жесткой подложке [9]. Методика основана на трехфазной модели волоконно-армированного композита и упрощенной постановке задачи электроупругости. Для определения упругих констант рассматриваемого активного полимер-керамического материала использована микромеханическая трехфазная модель волоконно-армированного композита и упрощенная постановка задачи электроупругости. В качестве исходных данных для расчета чувствительности пьезоэлектрического датчика использованы характерные значения микрогеометрических параметров, полученные на экспериментальных образцах полимер-керамического покрытия на основе нанопористого анодного оксида алюминия. Установлено, что пьезочувствительность датчика, свободно лежащего на подложке, прямо пропорциональна объемной доле полимерного наполнителя [10]. Для датчика, адгезионно связанного с подложкой, зависимость пьезочувствительности от доли наполнителя близка к квадратичной. Расчетные оценки исследуемой характеристики датчика при различных способах его закрепления совпадают при 58 % объемного содержания полимерного пьезоэлектрика.

Список литературы: 1. Юров В.М., и др. Некоторые вопросы механических свойств наночастиц и наноматериалов // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 12-2. – С. 349-353. 2. D. G. Morris. Mechanical Behaviour of Nanostructured Materials/ *Trans. Tech. Publ., Ueticon-Zurich*, Jan 1, 1998, 86 p. 3. Nanoporous Alumina: Fabrication, Structure, Properties and Applications / Eds.: Losic D., Santos A. Springer, 2015. – XIV. – 362 p. 4. Gorokh G., Belahurau Ya., Zakhlebayaeva A., Taratyn I., Khatko V. / Ring gyroscope sensitive element based on nanoporous alumina // *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. – 2018. – Vol. 90. – No. 1. – P. 43–50. 5. Gorokh G.G., Pashechko M.I., Borc J.T., Lozovenko A.A., Kashko I.A., Latos A.I. / Matrix coatings based on anodic alumina with carbon nanostructures in the pores // *Applied surface science*. – 2018. – Vol. 43. – P. 829–835. 6. Плескачевский Ю.М., Хатько В.В., Горох Г.Г., Таратын И.А. Элементы сенсорных микросистем на основе наноструктурированных материалов // Сб. научн. статей “Наноструктуры в конденсированных средах”/ Под ред. П.А. Витязя. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. – С. 18–24. 7. Ю. К. Машков, О. В. Кропотин, С. В. Шилько, Ю. М. Плескачевский, Самоорганизация и структурное модифицирование в металлополимерных трибосистемах : монография / [– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013 г. – 222 с. 8. Плескачевский Ю.М., Горох Г.Г., Казаченко В.П., Плиговка А.Н., Шилько С.В., Таратын И.А., Хатько В.В. / Исполнительные элементы МЭМС на основе композиционных интеллектуальных материалов с матрицами из пористых и вертикальных наноструктур // *Приборостроение–2016* : материалы 9-ой Международной конференции, Минск, 23–25 ноября, 2016 г. / Белорусский национальный технический университет. – Мн., 2016. – С. 360-362. 9. Shil’ko, S.V. Estimation of the friction coefficient of a nanostructured composite coating / S.V. Shil’ko, D. Chernous, T.V. Ryabchenko, V.V. Hat’ko // *Mechanics of Composite Materials*. – 2017. – Vol. 53, No. 5. – P. 579–588. 10. Шилько, С.В. Определение параметров деформирования и трения градиентных композитных покрытий, образованных частичным заполнением нанопор анодного оксида алюминия полимером / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, Т.В. Рябченко // *Актуальные вопросы машиноведения: Сб. научн. тр. ОИМ*. – Минск, 2017. – Вып. 6. – С. 141–144.

УДК 621.91.002(075.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДО И ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Кравченко В. С., Михайлов А.Н.

(кафедра ТМ, ДОННТУ, г. Донецк, Донецкая Народная Республика)

E-mail: luck.vsk@mail.ru , Тел.: +380713265153

Аннотация: После нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий поверхности должны подвергаться полированию до требуемой шероховатости, при этом чтобы избежать повреждения покрытия их обработка должна выполняться методом высотного сглаживающего полирования.

Ключевые слова: исследования, структура, разработка, маршрутно-операционный, отделочный, обработка рабочих поверхностей.

Важнейшим требованием к поверхностям подлежащим нанесению покрытий является высокая степень их чистоты, низкая шероховатость и отсутствие жировых и неорганических загрязнений на поверхности изделия. Эти требования обусловлены диффузионными процессами в вакуумной камере и требованиями чистоты к поверхности для возможности их ионной очистки и активации в вакуумной камере.

При нанесении покрытий на поверхности ТЦД шероховатость не должна превышать Ra 0,06...0,08 мкм. Этого параметра можно достичь за 3-4 этапа полирования. Предварительное полирование может производиться лепестковыми кругами или кругами на эластичной связке с зернистостью 12...8(размер зерен 120 ... 80 мкм). Для чистового полирования зернистость шлифпорошка от 6 ... 3 (размер зерен 60 ... 30 мкм), окончательного - микрошлифпорошки до M10 ... M20 (размер зерен 20 ... 10 мкм), а для глянцеваания – полировальные пасты накатанные на мягкие щетки.

Нитрид титановые покрытия, наносимые вакуумным ионно-плазменным напылением, имеют микротвердость порядка 20 ГПа и выше, при этом толщина покрытия может находиться в пределах от 2 ... 15 мкм, притом что припуск на традиционное полирование составляет 0.01...0.03 мм. Поэтому методы традиционного полирования нецелесообразны по причине возможного повреждения и удаления покрытия. Процесс полирования должен быть направлен не на сьем материала покрытия а на сглаживание микронеровностей поверхностного слоя в пределах высоты микронеровностей шероховатости [19, 25]. А в следствии того что микротвердость нитрид титанового покрытия более 20 ГПа, что выше некоторых абразивных материалов, полирование должно выполняться тонкими микрошлифпорошками из более мягкого абразива (электрокорунд нормальный и белый, формокорунд и другие материалы) с размером зерна менее толщины покрытия (M5...M10). При этом требуется особый подход к назначению величины припуска на полирования.

Суммарная величина припуска по всем переходам не должна превышать высоте шероховатости поверхности ТЦД, образующейся на этапе нанесения покрытия.

Для расчета и назначения припусков при высотном сглаживающем полировании поверхности с покрытием может быть использован метод деления толщины поверхностного слоя по операциям технологического процесса и последовательного уменьшения их на последующих операциях.

Для наружной и внутренней поверхности ТЦД минимальный припуск на обработку может определяться по формуле:

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

$$2z_{\min i} = 2 \frac{R_{\max(i-1)}}{n};$$

где $z_{\min i}$ - минимальны припуск на обработку i -го поверхностного слоя;

$R_{\max(i-1)}$ - наибольшая высота профиля $(i-1)$ -го поверхностного слоя, где

$$R_{\max(i-1)} = R_{p(i-1)} + R_{v(i-1)};$$

n - коэффициент уточнения припуска (для высотного сглаживающего полирования покрытий $n = 1,3 \dots 2,0$).

В табл. 1 приведены результаты измерения шероховатости поверхности после высотного сглаживающего полирования ТЦД с покрытиями. Обработка выполнялась для внутренней поверхности ТЦД на универсально-шлифовальном с войлочным кругом установленным во внутришлифовальную бабку. Скорость полировального круга $v = 20$ м/с, частота вращения круга $\varnothing 80$ мм 5000 об/мин, частота вращения детали $n=80$ об/мин, исходные параметры шероховатости поверхности $Ra=0,12$ мкм, обрабатываемый материал - сталь 20, паста на основе порошка электрокорунда 25А зернистости М10.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований процесса высотного сглаживающего полирования поверхностей с покрытиями

№ п/п	Этап обработки	Коэф. уточн. припуска, n	Давлен. прижатия детали, МПа	Длительность обработки, T , с	Абразив, зернистость	Параметр шероховатости, R_a , мкм (не более)	
						до обработки	после обработки
1	Предварительное полирование	1,26	0,12	185	25А, М10	0,12	0,08
2	Чистовое полирование	1,26	0,1	185	25А, М7	0,08	0,050
3	Глянцевание	1,25	0,08	190	25А, М5	0,050	0,040

Для измерения шероховатости использовался профилометр профиллограф 252 (рис. 1)

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Рис. 1. Прибор для измерения шероховатости «Профилометр-профиллограф - 252»

На рис. 3.20 представлены образцы поверхностей из стали 20 (увеличение $\times 200$) после различных этапов полирования обработка выполнена в соответствии с технологией и режимов представленных в табл. 3.1 п.п.3.3.



Рис. 2. Образцы поверхностей ($\times 200$): а - после предварительного полирования, б - чистового полирования, в - полирования и глянцеваания

В целом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Для достижения требуемого качества поверхностного слоя с покрытием и обеспечения требуемой прочности адгезионной связи покрытия с подложной, необходимо обеспечение малой шероховатости поверхности, которая может быть достигнута в результате 3-4 этапов полирования последовательно уменьшая зернистость абразива. Для достижения низкой шероховатости поверхности с нитрид титановым покрытием требуется полирование с применение более мягкого абразивного материала, выполняющего сглаживание микропрофиля покрытия базирующиеся на выполнении высотного сглаживающего полирования.

Список литературы: 1. Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л. Технология машиностроения. - М.: Высшая школа, 1976. – 438 с. 2. Емельянов В.А., Мрочек Ж.А., Иванов И.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. Минск: Интеграл, 1998. – 286 с. 3. Ивашко В.С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. / В.С. Ивашко, И. Л. Куприянов, А. И. Шевцов. – Мн.: Наука і техника, 1996. – 375 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ МАЛОРАЗМЕРНОЙ ВОЛНЫ
ВОДОЁМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Синельцев Ю.П., Мироненко Н.О.

(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация: В статье показана возможность применения пьезоэффекта для преобразования кинетической энергии малоразмерной волны водоёма в электроэнергию. Указано на бесспорную выгодность и перспективность разработки и изготовления пьезоэлектрического преобразователя энергии волны водоёма в электроэнергию.

Ключевые слова: кинетическая энергия, малоразмерная волна водоёма, пьезоэффект, пьезоэлектрические материалы, пьезоэлектрический преобразователь энергии, электроэнергия.

Введение

По прогнозу ИЭИ РАН и Центра энергетики Московской школы управления «Сколково», к 2040 году возобновляемые источники энергии (ВИЭ) ВИЭ обеспечат 35-50 % мирового производства электроэнергии и 19-25 % всего энергопотребления. Возобновляемую энергию получают из устойчивых источников, таких как: солнечная энергия, энергия ветра, гидроэнергия, геотермальная энергия, биомасса, энергия волн, энергия приливов и отливов.

Лидеры инвестиций в развитие возобновляемой энергетики – Китай, США, Япония и Великобритания. В годовом выражении вложения в чистую энергию выросли с \$33 млрд. до \$300 млрд. за 20 лет. Только за 2019 год по всему миру установлено объектов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) общей мощностью 200 ГВт [1].

В России ВИЭ выработали около 3,8 млрд. кВт·ч (без электростанций и биоэнергетики), что составляет около 0,36 % от выработки электроэнергии [2], что явно недостаточно. Перспективным направлением становится преобразование кинетической энергии волн водоёмов в электроэнергию. Волновые электростанции используют кинетическую энергию волн, переносимую по поверхности рек, озёр, морей и океанов.

Сегодня, учёными во всём мире сделан обзор направлений поиска приемлемого, рентабельного способа преобразования кинетической энергии волны водоёма в электрическую энергию. В настоящее время предложены лишь способы преобразования кинетической энергии крупноразмерной волны (более 1,2 метра) в электрическую энергию. Но они оказались очень дорогостоящими, малоэффективными, и пока не признаны выгодными на промышленном уровне.

Одним из способов преобразования кинетической энергии малоразмерной волны (1,2 метра и менее) водоёмов в электрическую энергию является применение пьезоэффекта. Преимуществами пьезоэлектрических преобразователей являются их малые размеры и масса, хотя и существуют технологические трудности. Ведутся работы по изучению свойств пьезоэлектрического материала, применяемого для изготовления пьезоэлектрического преобразователя, пригодного для решения этой задачи. Ведётся поиск нужного пьезоэлектрического материала и разрабатываются новые конструкции пьезопреобразователей, чтобы появилась возможность сделать процесс, преобразования рентабельным, выгодным, дающим реальную, осязаемую

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

прибыль. Но пока нет способа получения энергии из малоразмерной волны водоёмов с помощью применения пьезоэффекта.

Цель работы провести анализ перспективных конструкций пьезопреобразователей, и показать условия и возможность их использования при преобразовании кинетической энергии малоразмерной волны водоёмов в электрическую энергию.

Основное содержание работы

Для решения этой задачи, сделан обзор всей «зелёной энергетики». Ориентировочно, изучены перспективы использования каждого возобновляемого вида энергии. Удалось выяснить, что каждый вид возобновляемой энергии является по своему выгодным, но для каждого вида имеются ограничения возможности его применения. Оказалось, что использование кинетической энергии малоразмерной волны водоёмов, бесспорно, выгодный вид деятельности, и фактически нет ограничений его применения.

Следующий этап проведённого исследования это поиск приемлемого способа получения и использования кинетической энергии волн водоёмов.

Интересными оказались способы преобразования кинетической энергии малоразмерной волны (1,2 метра и менее) в электрическую энергию, осуществлённые, с применением пьезоэлектрического преобразователя энергии.

Засуживает внимания изучение свойств пьезоэлектрического преобразователя энергии на резиновой основе. Основанием для такого исследования является появившаяся возможность использования nano частиц самого эффективного и не дорогого вида пьезоэлектриков - пьезокерамики. Эти частицы наносятся на тонкую ленту из органической резины, покрытую фольгой токосъёмником. Далее, лента с пьезоэлектрическими nano частицами накрывается другой тонкой лентой из органической резины, покрытой фольгой токосъёмником. В результате, получается гибкий пьезоэлектрический элемент, изготовленный с применением nano частиц из пьезокерамики.

Ведутся разработки плёночного пьезоэлектрического элемента с толщиной от 5 до 100 мкм. Сборка преобразователя энергии осуществляется автоматическим накладыванием пьезоэлектрического элемента один на другой в многослойный пакет. Изготавливая гибкий плёночный пьезоэлектрический элемент с нужными физическими свойствами, получаем гибкий пьезоэлектрический преобразователь с оптимальными параметрами для волновой электростанции. В результате, прогнозируется возможность изготавливать пьезоэлектрические преобразователи энергии, преобразующие кинетическую энергию малоразмерной волны водоёма в электрическую энергию с КПД 80%.

В статье предложены два варианта преобразователя кинетической энергии малоразмерной волны водоёма в электрическую энергию. Они получили название “гибкие пьезопреобразователи кинетической энергии” – ГПКЭ.

Преобразователь энергии «Гибкий пакет» представляет собой гибкое полотно размером 50x1000x2000 мм. Полотно - это собранные в пакет пьезоэлектрические пластины 4 толщиной 2-3 мм, покрытые токосъёмным материалом шириной 40 мм длиной 990 мм. Пакет уложен на гибкую пластиковую основу 1 толщиной 5 мм, размером 1000x2000 мм. Сверху пакет накрыт другой гибкой пластиковой основой, и с торцов закрыт этой пластиковой основой. С боков пакета пьезоэлектрические пластины своими токопроводящими контактами контактируют с полосами токосъёмниками 3.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

Снаружи полосы токосъёмники герметично закрыты гибкой основой. Снизу к гибкому полотну крепятся пенопластовые поплавки 2 (рис. 1).

«Гибкие пакеты» последовательно соединяются в наборы и крепятся одним краем к линии свай или буёв (рис. 2).

«Гибкие пакеты» 2, собранные в наборы и прикреплённые к линии 3 свай или буёв 4, гибкими связями 1 раскачиваются, изгибаясь под каждой волной. В процессе изгиба, плоскости пластин периодически оказывают давление друг на друга. В результате, процесса прямого пьезоэффекта вырабатывается электроэнергия. Таким способом кинетическая энергия каждой волны водоёма преобразовывается в электрическую энергию.

Преобразователь энергии «Гибкое полотно» представляет собой гибкие пьезоэлектрические полосы 2 размером 1-2х250х2000 мм, собранные в пакеты толщиной 40 мм, и уложенные на гибкую пластиковую основу 1 размером 2.5х1010х2012 мм. Сверху пакеты полос накрыты другой пластиковой основой, такого же размера. Расположенная с одного торца, полоса токосъёмник 3 контактирует с токоподводящими контактами каждой гибкой пьезоэлектрической полосы. Снаружи полоса токосъёмник герметично закрыта гибкой пластиковой основой. С боковых сторон гибкие пьезоэлектрические полосы герметично закрыты пластиковой основой. Снизу к пластиковой основе крепятся пенопластовые поплавки 4 (рис. 3).

Установка, соединение в наборы и крепление к линии свай или буёв преобразователей «Гибкое полотно» аналогично установке и креплению преобразователей «Гибкий пакет».

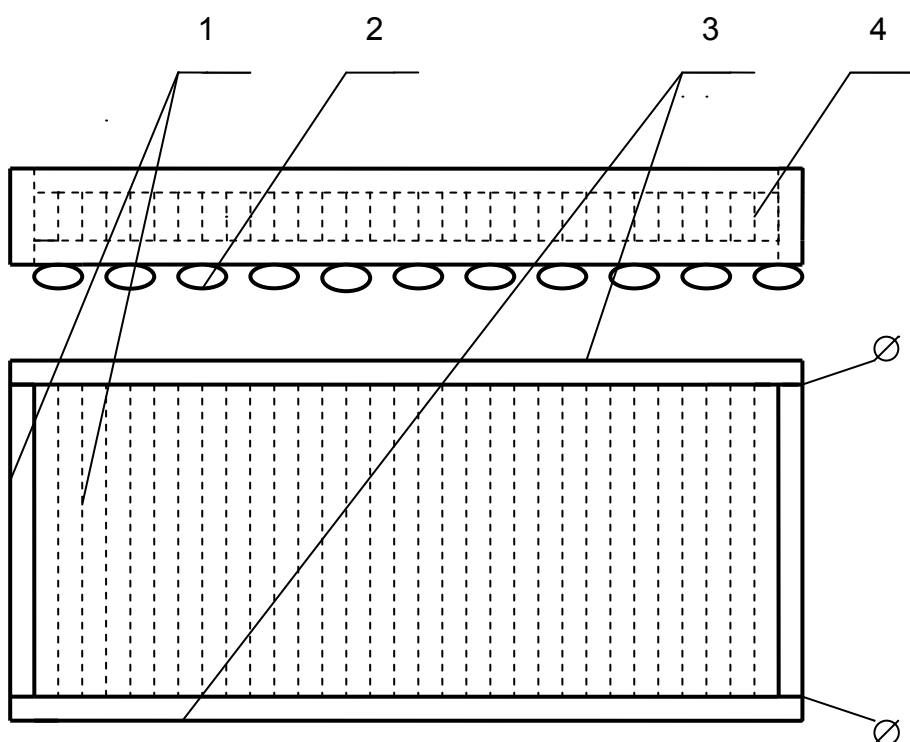


Рис. 1. Конструкция преобразователя «Гибкий пакет»

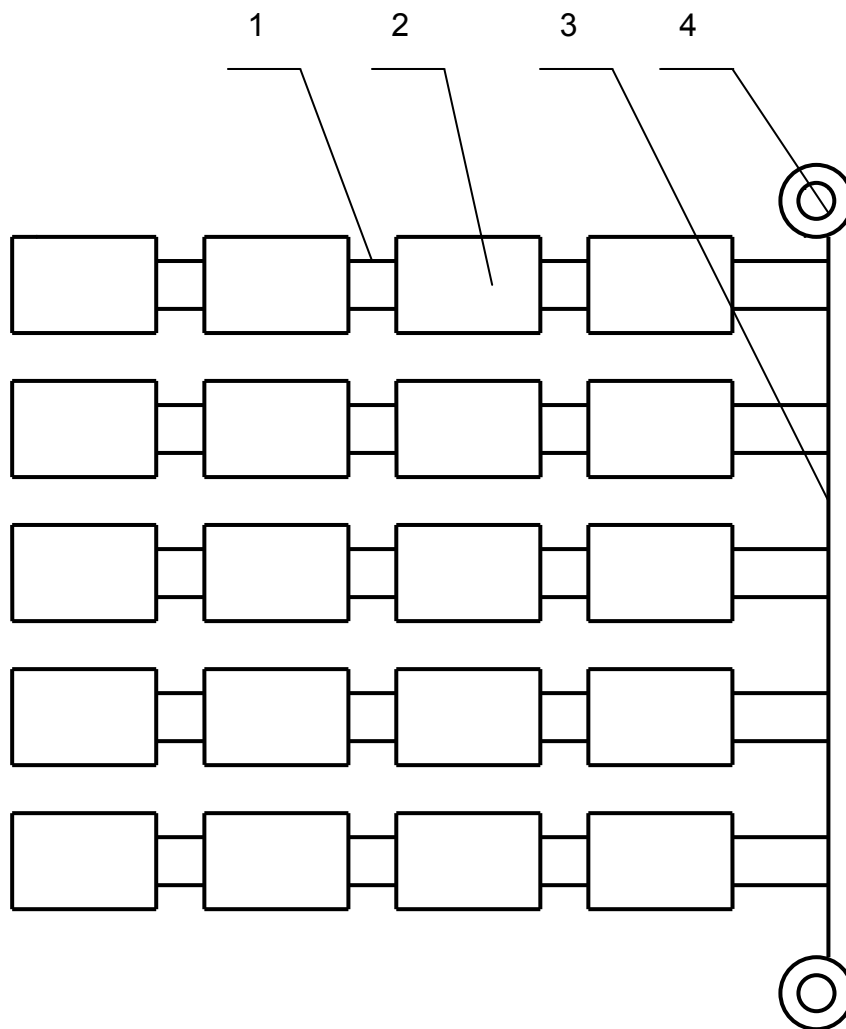


Рис. 2 Установка пакетов

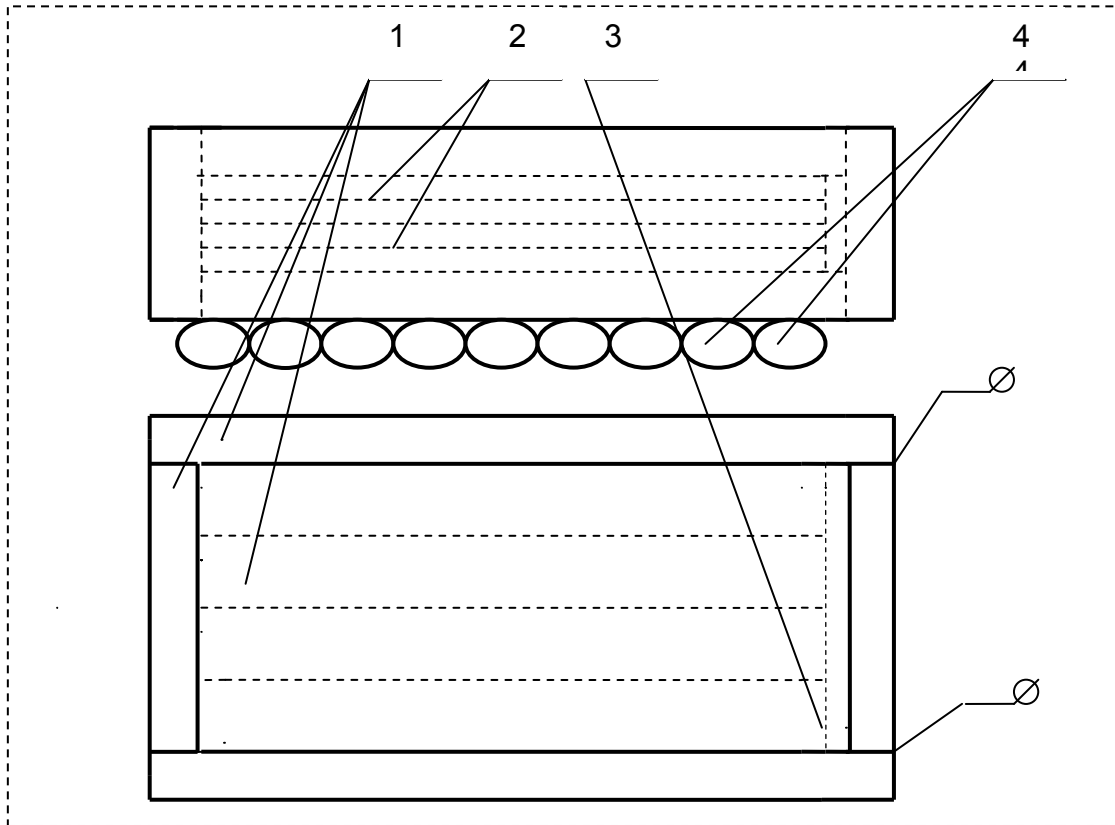


Рис. 3 Конструкция преобразователя «Гибкое полотно»

К сожалению, в настоящее время отсутствует пьезоэлектрический материал, с параметрами и характеристиками, которые обеспечат требуемую эффективность и стабильность работы пьезоэлектрического преобразователя, с учётом его назначения и условий эксплуатации.

Выводы

1. Преобразование кинетической энергии малоразмерной (1,2 м и менее) волны водоёма в электрическую энергию и общепризнано перспективно, но требует осуществления научно-исследовательской деятельности в этом направлении.

2. Промышленный вариант, конструкции преобразователя кинетической энергии малоразмерной волны водоёма в электрическую энергию, не предложен, поскольку, сегодня, нет, в наличии, изготовленного промышленным способом пьезоэлемента, пригодного для использования в такой конструкции.

Список литературы: 1. trends.rbc.ru Альтернативные источники энергии: что надо знать «Зеленый» курс: какое будущее ждет альтернативные источники энергии. 2. ru.wikipedia.org Возобновляемая энергия – Википедия

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Чайкин И. В., Михайлов А. Н. (кафедра ТМ ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные методы воздействия функционально-ориентированная технологи в машиностроения.

Ключевые слова: технология; функционально-ориентированная; машиностроение; изделия; орудия; воздействия

С развитием научно-технического прогресса привило к еще более актуальным создания принципиально новых технологий и технологических систем. Вектор развитие который охватывает все более новые и перспективные направления в различных отраслях машиностроения и других различных областях.

Технологии машиностроения, в своем развитии, прошли определенные этапы становления, при этом сложились определенные закономерности и традиции их реализации в процессе преобразования заготовок в изделия. Основные из них заключаются в том, что в процессе изготовления изделий не учитываются нано, микро и макро особенности их эксплуатации, изменяющиеся закономерности эксплуатации изделия и его объемно-пространственную структуру.

Функционально-ориентированная технология в машиностроения [1] - это специальная технология, базирующаяся на функционально-ориентированных технологическом процессе и технологической системе. Она основана на точной реализации необходимого множества алгоритмов технологического воздействия необходимые нано, микро, макро зоны и участки изделия. При этом их вид, тип, вариант, количество, качество и алгоритм технологического воздействия целенаправленно определяются, а также топологически, функционально и количественно ориентируются при их реализации в отдельные зоны изделия в зависимости от заданных функциональных особенностей их эксплуатации.

Использования функционально-ориентированных технологий для машиностроения позволяет максимально повысить эксплуатационные выпускаемого изделия за счет улучшения технических возможностей и свойств отдельных элементов, изделия в зависимости от функциональных особенностей изделия. При этом само изготовления изделия в машиностроения, изготавливают по предлагаемым технологиям, которые адаптируются по своим свойствам и проявляют свой полный потенциал возможностей в машине [2; 3].

Функционально-ориентированная технология дает возможность полностью адаптировать изделие при изготовлении к особенностям его эксплуатации, создает предельный его эксплуатационный потенциал и качественно новую совокупность свойств. При этом заданные, требуемые и свойства изделия используются за счет местного прецизионного обеспечения свойств изделия на различных уровнях.

Основные признаки функционально-ориентированных технологий:

1. Обеспечивается возможность реализации заданных и требуемых предельных свойств к изделию.
2. Технологические воздействия орудий и средств обработки на изделия.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

3. Выполняется ориентация технологических воздействий орудий и средств обработки для обеспечения заданных и требуемых свойств к изделию на основе ряда особых принципов.

Последовательность построения функционально-ориентированной технологии (рис. 1), основные этапы построения технологии:

1. Установление особенностей действия эксплуатационных функций;
2. Определение параметров функциональных элементов изделия;
3. Определение необходимых технологических возможностей;
4. Определения технологических возможностей на базе основных принципов;
5. Реализация технологических воздействий;
6. Обеспечение заданных свойств изделия.

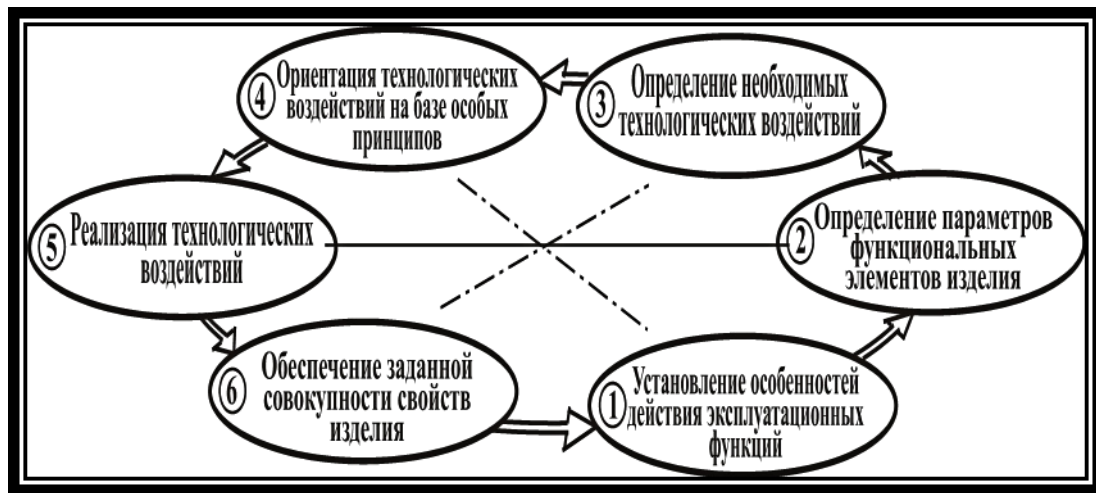


Рис. 1. Последовательность построения функционально-ориентированной технологии

Функционально-ориентированные технологии относятся к специальным технологиям, наиболее эффективно используются тогда когда на всех этапах комплексного технологического процесса (рис. 2). Где показано: V - входной поток изделий, W - выходной поток изделий, N - общее количество этапов комплексного технологического процесса изготовления изделия. В частности для изготовления деталей машиностроения это могут быть следующие этапы комплексного технологического процесса: изготовление заготовки, термические операции, механическая обработка, химико-термическая обработка, отделочные методы обработки, операции консервации и упаковки.

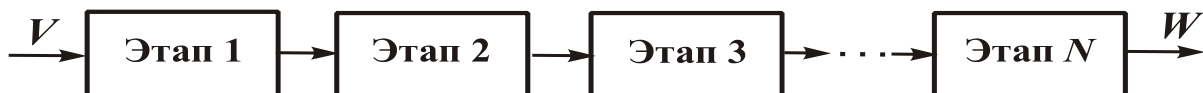


Рис. 2. Этапы комплексного технологического процесса

термические операции, механическая обработка, химико-термическая обработка, отделочные методы обработки, операции консервации и упаковки.

Особенности функционально-ориентированной технологии является воздействия на заготовку, обеспечение заданных характеристик, используются на

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Рисунок 3 - Уровни глубины функционально-ориентированной технологии

следующих уровнях (рис. 3): изделия в целом; на уровне участков; на уровне составляющих; на уровне зон; на уровне макрозон; на уровне микрозон; на уровне нанозон

Заданные, требуемые и предельные свойства изделий обеспечиваются за счет ориентации технологических воздействий, энергии и информации на базе особых принципов

1. Функционального соответствия особенностей действия элементарной функции в каждом функциональном элементе изделия, характеристик реализации технологических воздействий и параметров обеспечения необходимых свойств этом функциональном элементе изделия на каждом уровне глубины технологии.

2. Геометрических параметров функционального элемента изделия, при эксплуатации, геометрическим параметрам реализации технологических воздействий потоков материи, энергии и информации на изделие обеспечения необходимых свойств на каждом уровне технологии.

3. Количественного соответствия функциональных элементов, в которых действует множество различных элементарных функций при эксплуатации, технологических воздействий и множеству элементов обеспечения необходимых свойств на каждом уровне глубины технологии.

4. В зависимости от пространственных особенностей действия элементарной функции при эксплуатации, технологических воздействий в пространстве каждого функционального элемента

изделия на каждом уровне технологии.

5. Зависимости от особенностей действия элементарной функции, временных или пространственных особенностей реализации технологических воздействий и свойств изделия на каждом уровне глубины технологии.

6. Действия множества функций, реализация технологических воздействий и выполнения множества свойств в функциональных элементах изделия, требуемых или предельных свойств изделия на каждом уровне технологии.

7. Структурно-функционального соответствия в пространстве и во времени каждого функционального элемента, требуемого или предельному свойств изделия на каждом уровне технологии.

8. Структурно-функционального соответствия свойств элемента в пространстве и во времени заданному, требуемому или предельному свойству изделия на каждом уровне технологии [4; 5; 6].

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Вывод. Функционально-ориентированных технологий основывается на новых принципов воздействия на изделия. Для реализации функционально-ориентированных технологий приведена общая методология и методика их выполнения. Функционально-ориентированные технологии повышают технико-экономические, а также создаются долговечности и качества эксплуатации всех элементов изделия.

Список литературы

1. Михайлов А.Н. Некоторые аспекты создания технологий будущего // Новые технологии и системы обработки в машиностроении: Тезисы докладов научно-технической конференции. - Донецк: ДонГТУ, 1994. С. 87-90.
2. Михайлов А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2007 г. В 5-ти томах. - Донецк: ДонНТУ, 2007. Т. 3. С. 38-52.
3. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Методика и основные принципы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение, №7. 2005. С. 3–9.
4. Михайлов А.Н. Общий подход в создании функционально-ориентированных и интегрированных технологий машиностроения // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Т. 2. С. 261-275.
5. Михайлов А.Н. Основные принципы и особенности синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006 г. В 5-ти томах. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Т. 3. С. 61-77.
6. Михайлов А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2007 г. В 5-ти томах. - Донецк: ДонНТУ, 2007. Т. 3. С. 38-52.

**ОСОБЕННОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
ПОЛИМЕРОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ**

Шайдурова Г.И., Васильев И.Л., Шевяков Я.С.
(ПАО НПО «Искра», г. Пермь, Россия)

Summary

In the article there are given results of experimental studies in waste neutralization.

Under up-to-date conditions at the earliest stages of products' design there is performed the ecologic estimation both of products' lifetime and waste of toxic compounds including analysis of harmful effect upon an environment at all stages: manufacture, application and utilization. Ecological services and technical specialists at RPA Iskra and PZ Mashinostroitel (Perm) put the great emphasis on utilization problem, reclamation of glass-fiber bodies applied in rocket space technologies in particular. New approaches to the aspect of materials' reclamation are equally vital for science and real economy.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

Key words: *polymers, composites, biodegradants, elastomers, epoxy and phenol-formaldehyde resins, orthophosphoric acid, catalysts and small additives.*

В современных условиях на ранних стадиях проектирования изделий производится экологическая оценка как жизненного цикла изделий, так и промышленных отходов токсичных компонентов, включающая изучение воздействий на окружающую среду на всех стадиях: - производство, эксплуатация и утилизация. Проблеме утилизации, например, стеклопластиковых корпусов, применяемых в РКТ, в частности, в НПО «Искра» и ПЗ «Машиностроитель» г. Пермь было уделено немало внимания как со стороны экологических служб, так и технических специалистов. Новые подходы к вопросу вторичного применения материалов имеют актуальное значение как для науки, так и для реального сектора экономики.

Ключевые слова: полимеры, композиты, биodeграданты, эластомеры, эпоксидные и феноло-формальдегидные смолы, ортофосфорная кислота, катализаторы и малые добавки.

Конструкционные материалы в основе являются органическими, и их доля в общей массе корпуса ракетного двигателя достигает до 80-85%. В связи с этим для утилизации органопластиковых корпусов был выбран, изучен и отработан низкотемпературный пиролиз с получением карбонизата. Применяя термин «пиролиз» к преобразованию органического материала, подразумевается не только сублимация полимеров на низкомолекулярные продукты, но и синтез новых продуктов.

Известно, что пиролизу подвергается также твердые бытовые отходы и близкие к ним по составу производственные отходы, отходы пластмасс, резин и органических соединений, но это относится к отвержденным полимерным матрицам. Метод пиролиза, хотя и опробирован на многих предприятиях, в том числе и в НПО «Искра», но он требует последующей операции дожигания при температуре 1150-1200°C, что с технологической точки зрения не экономично для промышленных отходов органических связующих.

В производстве изделий ракетно-космической техники в настоящее время ведущее место принадлежит полимерно-композиционным материалам. Силовые оболочки пластиковых корпусов (рис. 1) формируются из арамидных волокон (Армос, Русар) с полимерными матрицами из эпоксидных связующих горячей полимеризацией при

$t = 160 - 170^{\circ}\text{C}$. Несмотря на автоматизированную технологию намотки на современных станках с программным управлением (типа КУ463Ф3), имеет место накопление промышленных отходов эпоксидных связующих как на поддонах для стекания их массы, так и в виде остатков препрегов.

Минимизирование воздействия техногенных факторов, наносящих вред окружающей среде, оптимальными методами при незначительных затратах является актуальной проблемой современного производства.

Разрабатываемые и применяемые материалы не должны накапливаться в окружающей среде по окончании их использования. Как показал анализ теоретических исследований, к наиболее перспективным и экономичным методам обезвреживания ксенобиотиков (загрязнителей) низковязких полимерных материалов следует отнести метод биodeградации универсально и адресно разработанный для конкретного класса материалов. Биоразложение той или иной композиции приводит к ослаблению остроты

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

глобальной экологической проблемы, включая загрязнения верхнего слоя почвы промышленными отходами.

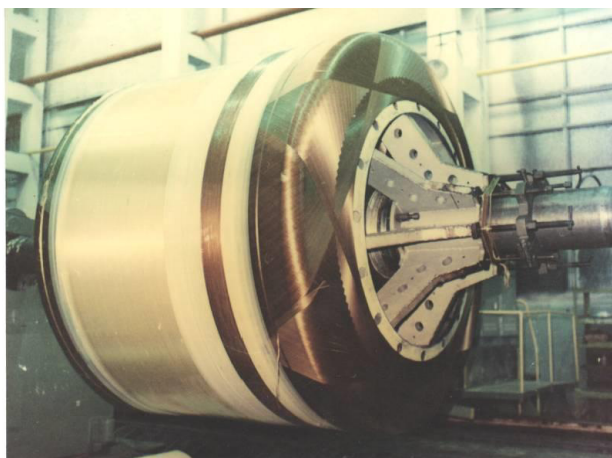


Рис.1. Процесс намотки силовой оболочки, корпуса из синтетических волокон с эпоксидной полимерной матрицей.

Взаимодействие эпоксидных групп с аминогруппами (например) протекает по традиционной схеме с разрушением эпоксидных колец.

Отверждение и кристаллизация эпоксидных смол может быть также осуществлена раствором ортофосфорной кислоты конкретной концентрации по аналогичной схеме с разрывом эпоксидного кольца. При этом реакция взаимодействия сопровождается значительным экзотермическим эффектом, что приводит к полезному эффекту – к «вспуханию» массы полученного продукта, что в последующем облегчает процесс измельчения в крошку. Для биоразложения в известной мере проявляется значительный интерес к полисахаридам (альгинат натрия, кукурузный крахмал и другие соединения) [2]. Добавление в рецептуру биоразлагаемых компонентов способствует ослаблению связей полимерных блоков и превращает продукт в легкоразрушаемую крошку.

Отходы промышленного производства, накапливаясь в окружающей среде, по окончании их использования в случае попадания в почву подвергаются разрушению под влиянием различных факторов окружающей среды от стадии фрагментации и до минерализации. На практике, фактически, используется нерекондуемый экологическими службами метод захоронения. Для этих целей, безусловно, в целях рационального природопользования представляет научный и практический интерес, например, для эпоксидных смол, применение нестандартных методов полимеризации, с одной стороны, и биодеградации – с другой, эти два процесса обеспечивают перевод материала как в другое агрегатное состояние, так и приводят к обезвреживанию, что является важным с точки зрения экологической безопасности по отношению к окружающей среде.

В данной работе рассмотрены процессы отверждения эпоксидных связующих под воздействием:

- ортофосфорной кислоты (70 – 75% концентрации),
- фенолоформальдегидной смолы.

Для процесса биоразложения ксенобиотиков были выбраны наиболее доступные, дешевые и простые ингредиенты. К ним относятся крахмал (кукурузный

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

или картофельный), дрожжи (простые одноклеточные микроорганизмы в наноразмерном состоянии) и казеиновый клей животного происхождения. Метод не требует установки дорогостоящего и обслуживаемого оборудования.

Отверждение эпоксидных связующих в вышеприведённых вариантах протекает, в случае применения неорганической кислоты, при нормальной температуре, что является отличительной особенностью процесса отверждения как аминными и ангидридными отвердителями, так и резольными фенолоформальдегидными смолами.

При введении раствора фосфорной кислоты наблюдается увеличение объёма в 2,5 – 3 раза и гашение его при введении биологически активных микроорганизмов, особенно, в нанодисперсном состоянии, что объясняется мгновенной фрагментацией низковязкого продукта.

На рис. 2, 3, 4 представлен внешний вид получаемых продуктов. Поэтапно: эпоксидные смолы ЭД-22 и КДА с биокомпонентами и смола ЭД-22 после экспозиции в почве.



Рис.2. Внешний вид смолы ЭД-22 после отверждения H3PO4



Рис. 3. Внешний вид смолы ЭД-22 с биокомпонентами.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**



Рис.4. Внешний вид смеси отвержденных смол (ЭД-22+КДА) после биоразложения.

Таблица 1 - Период отверждения рецептурных составов и период биоразложения представлен в таблице 1.

№ п/п	Биокомпоненты марки смол (ксенобиотики)	Микро-организмы	Казеин (водный раствор)	Крахмал (кукурузный)	Вода	Период отверждения
						Период биоразложения
1	ЭД-22 (H ₃ PO ₄ – отвердитель)	+	+	+		20 – 30 мин 10 – 14сут. (аэрация)
2.	КДА (H ₃ PO ₄ – отвердитель)	+	+	+		30 мин 10 сут (аэрация)
3.	Эпоксидная композиция (шпатлёвка ЭП-0020)	–	+	+	+	10 – 20 мин 14 суток 40% - биоразложение

Практический интерес представляет совместное использование эпоксидных связующих и фенолоформальдегидных смол (включая препреги из стекло и углетканей). Ортофосфорная кислота, в данном случае, служит катализатором отверждения. Рецептуры аналогичного состава в настоящее время отработываются.

В связи с возможностью перевода эпоксидных связующих в крошку (без добавления биоразлагающих компонентов) наиболее эффективно применение такой крошки для производства строительных материалов, таких как искусственный камень, строительная плитка, наполнитель для полиуретановых композиций прозрачного и непрозрачного типа.

Уровень и результаты проведённых исследований являются начальным этапом комплексных исследований. Далее предстоит более тщательная проработка:

- рецептурных составов для конкретных марок отходов низковязких связующих;

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- химический анализ и установление технических показателей токсичности на этапах до - и после биодegradации;
- санитарно – гигиенические исследования продуктов биодegradации с установлением класса опасности (подтверждение 4 – 5 класса);
- разработка паспорта безопасности отхода;
- оценка возможности эффективного применения биоразлагаемых продуктов утилизации (вторичного применения).

Вторым, не менее важным направлением является поиск и разработка эффективных способов извлечения дорогостоящих углеродных волокнистых наполнителей с минимально возможным снижением прочности. Методом прокаливания не удаётся достичь требуемых результатов. Известный метод сольволиза в серной кислоте с последующей обработкой перекисью водорода требует кипячения агрессивного концентрата при температуре 180⁰ С в течение 2-х – 4-х час, что не технологично и экологически не безопасно. Поиск других сред для сольволиза, лишённых вышеуказанных недостатков, представляет собой научно-прикладную задачу.

По оценкам экспертов, общий объём производства изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в России к 2020 году достигнет 120 тысяч тонн. Но это составляет незначительную долю от мирового композитного рынка, на котором доминируют Китай (28%), США (22%), ЕС (14%) и др.(36% суммарно).

Увеличение производства и потребления ПКМ неизменно влечёт за собой рост технологических бесполезных отходов, возникающих как на этапе производства, так и по окончании срока службы изделий. В связи с этим вопрос утилизации и/или переработки ПКМ с каждым днём становится все более открытым. Следует отметить, что ряд стран и международных организаций настоятельно предлагают рассматривать в качестве стратегического направления развитие безотходных технологий производств замкнутого цикла. Это не означает, что отходов не будет вообще, но их количество должно быть минимизировано и предусмотрено использование в сопутствующих продуктах или возможность повторного применения с параллельной разработкой наиболее рациональных программ рециклинга. [1, 2]

Немалую часть в процессе производства ПКМ составляют технологические отходы тканых и волокнистых материалов.

С увеличением объемов производства изделий из углеродных, арамидных и стеклянных наполнителей возрастает количество отходов тканей и нитей. К примеру, в настоящее время производится около 58 тыс. тонн углеродных волокон в год. В зависимости от особенностей технологических процессов количество пригодных для повторной переработки полезных отходов только углеродных волокон, образующихся при изготовлении и переработке тканей, составляет от 10 до 20 % от указанного объема. [3]

Вторичное использование отходов волокнистых материалов, полученных в процессе изготовления ПКМ, – это актуальное направление в решении проблемы утилизации. Положительной стороной вторичной переработки является то, что появляется дополнительное количество полезных продуктов для различных отраслей промышленности и упреждается повторное загрязнение окружающей среды. По этим аспектам вторичная переработка является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением проблемы утилизации композиционных материалов в условиях современного законодательства. [4, 5]

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Чаще всего технологические отходы производства композитов представляют собой волокна различной длины и пригодны для повторного использования. Область вторичного использования определяется, в основном, сохранностью свойств волокна, поэтому повторное использование вторичного наполнителя может обозначаться при решении задач армирования малонагруженных композитов, бетонов, строительных материалов, в качестве сырья для теплоизоляционных материалов и армирующей добавки для композитов различного назначения на основе реактопластичной матрицы, а также при изготовлении нетканых материалов.

Одним из самых потребляемых классов материалов являются резины. Резинотехнические изделия (РТИ) находят свое применение практически во всех отраслях промышленности. К числу наиболее емких рынков по использованию РТИ относятся отрасли по производству автомобилей, тракторов, сельхозтехники, трубопроводной арматуры. В связи с этим становится очевидной экономическая целесообразность выпуска РТИ с повышенными эксплуатационными свойствами. [6]

Резины представляют собой полимер с химическими связями между макромолекулами каучука и введенными в рецептурный состав резиновой смеси ингредиентами: наполнителями, вулканизирующими агентами и др. Повышение прочности и износостойкости резинотехнических изделий к настоящему времени при объемном модифицировании достигается за счет всевозможных добавок в «сырую» резину перед вулканизацией. [6] В качестве эффективного решения проблем повышения эксплуатационных свойств теплозащитных резин на основе СКЭПТ, наряду с шунгитами и другими природными наполнителями, успешно может рассматриваться наполнение резиновых смесей волокнистыми наполнителями.

В процессе данного исследования было предусмотрено использование отходов углеродного и арамидного волокон, полученных в процессе технологических операций, для армирования резинотехнических изделий с целью повышения их механических и химических свойств.

В качестве отходов волокна использовались углеродные волокна марки УМТ-42-12К- и волокна из ароматического полиамида (арамидного) марки Армос.

В данном эксперименте производился процесс армирования резины 51-2110 отходами углеродного и арамидного волокон с последующим изготовлением образцов.

Методикой проведения испытаний предусмотрены следующие операции:

1. Растворение резиновой смеси 51-2110 ТУ 2512-045-05766882-2008 в толуоле с получением 25 % раствора.

2. Резка отходов угольных и арамидных волокон на штапельное волокно длиной 4-5 мм и обезжиривание спирто-ацетоновой смесью.

3. Добавление волокна в приготовленную резиновую смесь в следующих соотношениях:

Рецептура № 1 – 10 массовых частей угольных волокон;

Рецептура № 2 – 10 массовых частей арамидных волокон;

Рецептура № 3 – 5 массовых частей угольных волокон и 5 массовых частей арамидных волокон.

4. Вальцевание для получения однородного по толщине резинового «холста» при температуре вальцев 40°C в течение 20 минут.

5. Вулканизация резинового «холста» в термостате под давлением 9-11 кгс/см² по режиму:

- подъем температуры до (155±5)°C со скоростью 15°C в час;

- выдержка при температуре (155±5) °C в течение 60 минут;

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

-охлаждение до комнатной температуры под давлением при выключенном термостате;

- сброс давления и демонтаж пресс-формы.

В результате экспериментов по смешению, механо-активации и прессованию были изготовлены плоские образцы резины на основе резиновой смеси 51-2110, углеродного волокна УМТ 42-12К-ЕР и арамидного волокна Армос. Далее из них были изготовлены образцы для определения следующих показателей:

- условная прочность при растяжении ГОСТ 270-75;
- относительное удлинение при разрыве ГОСТ 270-75;
- плотность ГОСТ 267-73;
- твердость ГОСТ 263-75;
- набухание в толуоле ГОСТ 9.030-74.

Результаты испытаний

В процессе экспериментальной обработки применения отходов ПКМ основной целью ставилась задача выявления потенциальной возможности использования отходов волокна в качестве армирующего наполнителя при изготовлении резинотехнических изделий. В основе эксперимента - конечная оценка результативности физико-механических характеристик.

Для испытаний были выбраны образцы-лопатки по ГОСТ 270-75:

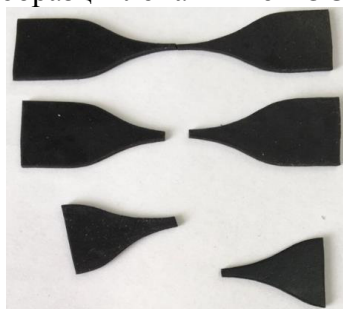


Рис.5. Образцы-лопатки для определения условной прочности при растяжении и относительного удлинения из рецептуры №1 (наполнение угольными волокнами марки УМТ 42-12К-ЕР)

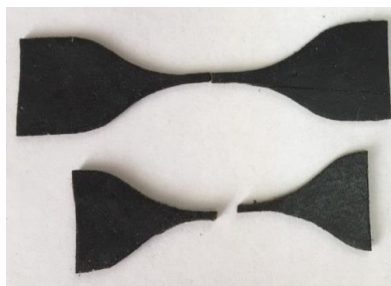


Рис.6. Образцы-лопатки для определения условной прочности при растяжении и относительного удлинения из рецептуры №2 (наполнение арамидными волокнами марки Армос)

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

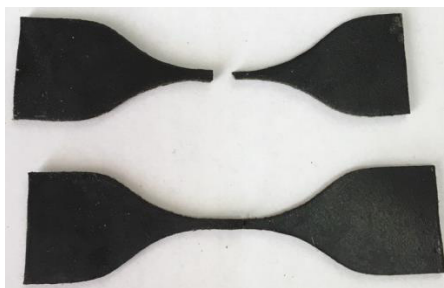


Рис.7. Образцы-лопатки для определения условной прочности при растяжении и относительного удлинения из рецептуры №3 (наполнение арамидными и угольными волокнами).

Испытания на прочность проводили при комнатной температуре на испытательной машине УТС 110МН-5 при скорости подвижного захвата 500 мм/мин. Результаты испытаний физико-механических характеристик представлены в табл.1 в сравнении со штатными характеристиками резинотехнических материалов.

Сравнительные физико-механические характеристики

Таблица 2

Контролируемая характеристика	Наименование материала			
	Штатный образец	Рецептура № 1 – 10 м.ч. угольных волокон	Рецептура № 2 – 10 м.ч. арамидных волокон	Рецептура № 3 – 5 м.ч. угольных волокон и 5 м.ч. арамидных волокон
Условная прочность при растяжении f_p , кгс/см ²	Не менее 70	148	76,1	86,7
Относительное удлинение при разрыве ε_p , %	Не менее 350	484	68	314
Твердость	Не менее 66	75	76	80
Плотность ρ , г/см ³	1,02-1,08	1,08	1,06	1,07
Набухание в толуоле через сутки, %	Не более 245	175	109	141

Анализируя данные таблицы 2 по полученным результатам физико-механических характеристики и сравнивая их с характеристиками штатного образца, можно сделать вывод о том, что получены вполне обнадеживающие результаты ФМХ исследуемых вариантов резинотехнических материалов: прочность на растяжение образцов рассмотренных вариантов оптимальная, для рецептуры №1 с наполнением угольными волокнами наблюдается увеличение прочности в 2,1 раза, но по показателю относительного удлинения при разрыве представительной является только рецептура №1, причем ее значение превышает значение для штатного образца.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

При исследовании относительного удлинения при разрыве наилучшим вариантом остается рецептура №1, для рецептуры №2 и 3 данный показатель подлежит повышению, возможно за счёт варьирования массовых частей. Тем более, что по показателю плотности все рецептуры входят в диапазон допустимых для штатного образца.

В этом случае, принимая во внимание оптимальные показатели исследуемых характеристик, можно сказать, что самым перспективным вариантом для изготовления резинотехнических изделий является рецептура №1 с наполнением углеродными волокнами. Путем экспериментального подбора значений массового наполнения можно варьировать значениями показателей в нужных диапазонах.

Для определения класса опасности продукта применялись методы биотестирования с использованием водорослей *Scenedesmus quadricauda* Breb. и дафний *Daphnia magna* Straus. Снижение класса опасности отходов из смеси эпоксидных смол достигается за счет их наполнения натуральным компонентом в виде крахмала и последующего перевода этой смеси в твердое состояние в присутствии ортофосфорной кислоты.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое распространение в последние несколько десятилетий, хотя известны они уже несколько тысяч лет. Когда речь идет о композиционных материалах (КМ), сегодня в первую очередь подразумеваются материалы на основе органических, углеродных, стеклянных волокон и синтетических смол. [1]

Благодаря уникально высокой прочности и низкой плотности (прочность в 1,5-2 раза выше прочности конструкционных сталей, а плотность в 3-5 раза ниже) в последние два десятилетия ПКМ нашли широкое применение при производстве авиационной, космической и военной техники. [1]

Впервые ПКМ применили военная и аэрокосмическая отрасли с целью снижения веса и как следствие увеличение дальности полета изделий, а на сегодняшний день наблюдается тенденция применения композита как основного материала не только для самолетов обороны, но и для поколений коммерческих воздушных судов.

Кроме того, композиционные материалы, применяемые в корпусе ракетного двигателя, в основе являются органическими, и их доля в общей массе корпуса достигает до 80-85%.

Полимерные композиционные материалы можно определить как макроскопическую комбинацию из двух или более индивидуальных компонентов, имеющих явную границу между собой. [2] Они представляют собой анизотропные гетерофазные композиты на основе непрерывных армирующих высокомодульных волокон и терморепактивных (или термопластичных) полимерных матриц. Большинство используемых ныне композитов имеет полимерную матрицу. [2] В качестве полимерной матрицы в ПКМ практически всегда используют реактопласты невысокой молекулярной массы (смолы), которые в процессе формования отверждаются путем полимеризации (поликонденсации).

Смолы в большинстве случаев являются высоковязкими жидкостями в исходном состоянии, а при полимеризации, протекающей чаще всего при повышенной температуре, образуют жесткую и прочную полимерную сетку, устойчивую к воздействию температуры, климатическому воздействию окружающей среды и агрессивных сред. [1]

В современных условиях на ранних стадиях проектирования корпусов ракетных двигателей производится экологическая оценка как жизненного цикла изделий, так и

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

промышленных отходов токсичных компонентов, включающая изучение воздействий на окружающую среду на всех стадиях: при производстве, эксплуатации и утилизации. [3] Основную токсичную нагрузку в объеме композита несет полимерная матрица, по-другому связующее или смола. А так как практически всегда стоит задача повышения физических и химических показателей композита при его производстве, преимущественно применяются эпоксидные, эпоксифенольные и фенолформальдегидные смолы. По своей природе и химическому составу указанные смолы относят ко 2 классу опасности (высокоопасный) по степени воздействия на человека.

При производстве изделий сферической, цилиндрической, конической формы, работающих под давлением, к примеру, корпус РДТТ, из композиционных материалов используется технология намотки. Технология заключается в укладке пропитанного связующим пучка волокна на непрерывно вращающуюся оправку, за счет чего формируется конечный вид изделия.

Несмотря на автоматизированную технологию намотки на современных станках с программным управлением (типа КУ463Ф3) при изготовлении крупногабаритных корпусов для изделий ракетно-космической техники, имеет место накопление промышленных отходов смол на поддонах для стекания их массы, которое в дальнейшем не подлежит вторичному использованию без применения методов дополнительной обработки. В процессе производства препрегов из углеродной и органической ткани аналогично возникает большое количество отходов связующего, поэтому неизбежно возникает вопрос их утилизации. [3]

В настоящее время объемы только производственных отходов связующего, относящегося ко 2 классу опасности и предназначенных для последующей утилизации, составляют сотни тонн в год.

Утилизация отходов связующего, ввиду своей повышенной токсичности, при производстве композитов относится к проблемным вопросам в реальной практике, так как их утилизация представляет особую сложность. Данная тема исследований является на сегодняшний день актуальной задачей, так как известные способы утилизации отходов производства композиционных материалов в той или иной мере причиняют вред окружающей нас среде и имеют свои недостатки.

Целью данной работы является экспериментальное опробование снижения класса опасности применяемых эпоксидных смол для дальнейшей их утилизации.

Так как в своем исходном состоянии отходы связующего относятся ко **2 классу опасности**, была проведена работа по наполнению отходов натуральными компонентами и кислотами для перевода его в твердое состояние. Для чего проводились исследования с варьированием массового наполнения входящих компонентов и выбран один состав, удовлетворяющий заданным условиям. Объектом исследования являлись производственные отходы связующего ЭДТ-10П и УП-2217 (рис.8).

Для наполнения смеси отхода использовался крахмал, за счет которого достигалась фиксируемая плотность состава, и ортофосфорная кислота для отверждения полученной смеси при комнатной температуре (рис.9)

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**



Рис. 8. Исходное состояние отходов связующих ЭДТ-10П и УП-2217



Рис. 9. Состояние отходов ЭДТ-10П и УП-2217 в присутствии крахмала и кислоты H_3PO_4

Определение класса опасности отходов смол проводилось экспериментальным методом. Отнесение отхода к классу опасности для окружающей природной среды (ОПС) экспериментальным методом основан на биотестировании водной вытяжки отходов.

При определении класса опасности отхода для ОПС с помощью метода биотестирования водной вытяжки отхода применялись 2 тест-объекта из разных систематических групп. Класс опасности устанавливался по кратности разведения водной вытяжки, при которой не было выявлено воздействие на гидробионтов в соответствии с диапазонами кратности разведения, приведенными в табл. 1.

Таблица. 3 - Классы опасности отхода в соответствии с диапазоном кратности разведения водной вытяжки отхода

Класс опасности отхода	Кратность разведения водной вытяжки из опасного отхода, при которой вредное воздействие на гидробионтов отсутствует
1	≥ 10000
2	От 10000 до 1001
3	От 1000 до 101
4	≤ 100
5	1

Определение класса опасности отхода осуществлялось экспериментальным методом на двух биотестах: водорослях *Scenedesmus quadricauda* Breb. и дафниях *Daphnia magna* Straus. [4, 5]

1) При определении острой токсичности водной вытяжки данного отхода устанавливали безвредную кратность разбавления (БКР) вод и водных вытяжек,

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

содержащих смеси веществ (исследуемых образцов), вызывающих снижение численности клеток водорослей (3-5 суточная культура) не более чем на 20% по сравнению с контролем за 72 часа экспозиции - BKP_{20-72} .

Методика основана на регистрации снижения уровня флуоресценции хлорофилла и темпа роста (снижение численности) клеток водорослей под воздействием токсических веществ, присутствующих в тестируемой воде по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль).

Рассчитывалось относительное (в %) изменение численности клеток водорослей (I) для каждого разведения по сравнению с контролем:

$$I = (X_k - X_0) / X_k \times 100\%, \text{ где}$$

X_k – среднее значение тест-параметра в контроле,

X_0 – среднее значение тест-параметра в опыте.

При $I \leq 20\%$ тестируемая вода не оказывает острого токсического действия.

Таблица 4 - «Результаты определения острой токсичности водной вытяжки пробы (смесь отходов смол ЭДТ-10П, УП-2217, крахмал, H_3PO_4), выявленные на тест-объекте – водорослях»

№ п/п	Концентрации разведения водной вытяжки отхода, %	Процентное отклонение от контроля (I, %)	Оценка качества водной вытяжки отхода
1	100	100,00	Оказывает токсическое действие
2	50	95,48	Оказывает токсическое действие
3	5	67,92	Оказывает токсическое действие
4	0,361	20,00	Не оказывает токсическое действие
5	0,2	12,80	Не оказывает токсическое действие
6	0,02	9,34	Не оказывает токсическое действие

Согласно приведенным данным Таблицы.4 исследуемый образец отхода по результатам воздействия на тест-объект (водоросли) $BKP_{20-72} = 277,01$ соответствует **3 классу опасности** отходов (умеренно опасный).

2) Также острую токсичность водной вытяжки отхода определяли расчетом процента погибших дафний (А, %) по сравнению с контролем. Методика основана на определении смертности и изменений в плодовитости дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль).

В краткосрочных экспериментах по определению острого токсического действия устанавливали безвредную (не вызывающую эффекта острой токсичности) концентрацию отдельных веществ (кратность разбавления вод или водной вытяжки), вызывающую гибель не более 10 % тест-организмов (BKP_{10-96}).

$$A = (X_k - X_m) / X_k \times 100\%, \text{ где}$$

X_k – количество выживших в контроле особей,

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

X_m – количество выживших особей в тестируемой воде,

A – процент погибших особей.

При $A \leq 10\%$ тестируемая вода не оказывает острого токсического действия. При $A \geq 50\%$ тестируемая вода или водная вытяжка оказывает острое токсическое действие.

$A = (30-0)/30 \times 100\% = 100,00\%$ - без разведения водной вытяжки отхода;

Результаты определения острой токсичности водной вытяжки пробы (смесь отходов смол ЭДТ-10П, УП-2217, крахмал, H_3PO_4), выявленные на тест-объекте – дафниях»

Таблица 5

№ п/п	Концентрации разведения водной вытяжки отхода, %	Процент погибших дафний A, %	Оценка качества водной вытяжки отхода
1	100	100,00	Оказывает токсическое действие
2	50	100,00	Оказывает токсическое действие
3	5	93,33	Оказывает токсическое действие
4	0,2	10,00	Не оказывает токсическое действие
5	0,02	0	Не оказывает токсическое действие
6	0,01	0	Не оказывает токсическое действие

Согласно данным Табл.1 исследуемый образец отхода по результатам воздействия на тест-объект (дафнии) $BKP_{10-96} = 502,51$ соответствует **3 классу опасности** отходов (умеренно опасный), при добавлении в рецептуру биодеградантов специального наполнителя «Сорбонафт» достигается снижение класса опасности до 4-го, идентичного бытовым отходам.

По результатам экспериментального определения класса опасности отходов для окружающей среды определено, что наполненный образец отходов смол ЭДТ-10П и УП-2217 крахмалом и отвержденный в присутствии ортофосфорной кислоты, относится к **3 классу опасности**.

Таким образом, при добавлении натуральных компонентов в отходы эпоксидного связующего можно добиться эффективного процесса снижения класса опасности (токсичности) для последующей их утилизации предпочтительными методами.

Результаты, представленные в статье, были получены в ходе выполнения государственного задания Министерства образования и науки РФ в рамках мероприятия «Инициативные научные проекты»

Список литературы: 1. Сидоренко П.Д. Утилизация композитов: проблемные аспекты и перспективные решения. [Электронный ресурс]. URL: <http://basalt.today/ru/2018/05/15941/> (дата обращения: 02.07.2018) **2.** Куликова Ю. В., Слюсарь Н. Н., Шайдурова Г. И. Анализ проблемы утилизации отходов композиционных материалов // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №11 (24). С. 255-261. [Электронный ресурс]. URL:

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

<http://www.bulletennauki.com/kulikova> (дата обращения: 22.06.2018). **3.** Кнобельсдорф К., Лютцендорф Р. Перспективы применения новых нетканых материалов на основе формуемых «мокрым» способом холстов// Нетканые материалы. Продукция, оборудование, технологии. – 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.polymerbranch.com/2de5d16682c3c35007e4e92982f1a2ba/7c6712843ba934622c394b2723385e8d/magazineclause.pdf> (дата обращения: 02.07.2018). **4.** Хрульков А.В., Гусев Ю.А., Мишкин С.И., Дориомедов М.С. Эффективность утилизации композиционных материалов// Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 6 (24). – С. 69-74. **5.** Петров А.В., Дориомедов М.С., Скрипачев С.Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) [Электронный ресурс] // Тр. ВИАМ. – 2015. – № 12. – Ст. 12. – URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=904 (дата обращения: 21.06.2018). **6.** Гринберг П.Б., Полещенко К.Н., Суриков В.И., Тарасов Е.Е. Технология нанесения наноструктурированных металлопокрытий на резинотехнические изделия// Вестн. Ом. Ун-та. 2012. №2. С. 249-252. **7.** Вторичная переработка полимеров. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tehnoinfo.ru/polimer/62.html/> (дата обращения: 29.08.18). **8.** Композиционные материалы: от древних пирамид до современного авиапрома. [Электронный ресурс]. URL: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=474&group_id_4=55&m_id_4=26/ (дата обращения: 15.05.18). **9.** Gatina E., Kulikova Y., Shaidurova G., Shevyakov Y., Rudakova. Biodegradation of waste low viscosity epoxy resin. // 17 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, 29 June-5Juli, 2017. – pp. 529-535. **10.** ФР.1.39.2007.03223. М.: АКВАРОС, 2007 г. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. **11.** ФР.1.39.2007.03222. М.: АКВАРОС, 2007 г. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ИЗ КАМНЯ

Горобец И.А., Игнатов А.Д. (каф. ТМ, ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк)

Аннотация: Рассмотрены вопросы показателей качества обработки поверхности заготовок из природного камня шлифованием. Исследованы параметры шероховатости поверхности от режимов обработки. Приведены ограничения при выборе параметров качества обработки и параметры целевой функции.

Ключевые слова: шлифование, качество, поверхность, режим, ограничение, функция, расчёт, условие.

Вопросы точности и качества поверхности заготовки включают ряд показателей, к которым можно отнести макро- и микронеровности. Вопросы образования шероховатости при шлифовании заготовок рассматривались исследователями при определённых допущениях. Например, Е. Н. Маслов [1] при выводе формулы для расчёта сечений снимаемых стружек допускал, что режущие абразивные зерна следуют одно за другим, находясь на одинаковом расстоянии от оси вращения круга.

Изучая процесс резания в пространстве, П.И. Ящерицин [2] предложил новое понятие в теорию образования шлифованной поверхности. По его мнению, если спроектировать все зерна на рабочем участке круга на одну плоскость, то с некоторым приближением можно считать, что образуется режущий контур, неровности которого полностью копируются в зоне контакта круга на обрабатываемой поверхности. Чем меньше неровность режущего контура, тем он ближе подходит к сплошному режущему лезвию, тем шероховатость обработанной поверхности будет меньше. Отсюда вытекает, что шероховатость формируется режущим контуром, причём одинаковый режущий контур может быть создан различными способами.

Проф. А.А. Маталин [3] рассматривал образование шероховатости поверхности с учётом пластической деформации, геометрических факторов и вибрации в системе СПИД. Он убедительно доказывает, что под действием высоких температур металл срезаемой стружки и обрабатываемой поверхности размягчается и покрывает прорезанные риски бесформенными сгустками. Это явление в отдельных случаях может увеличить высоту шероховатости, а в других, при более сильном тепловом воздействии, уменьшить.

По мнению А. В. Якимова [4], в условиях шлифования сплошным кругом процесс формирования шероховатости поверхности зависит от свойств материала обрабатываемой детали, остроты режущих зёрен, химического сродства трущихся пар, пластической деформации, адгезии и вибрации. Преобладание одного из этих факторов хотя и определяет характер шероховатости обработанной поверхности согласно существующим теориям, однако условия формирования шероховатости непрерывно изменяются во времени. Причиной служит затупление зёрен шлифовального круга даже в течение 5-15 мин работы.

При шлифовании прерывистыми кругами высота шероховатости формируется в основном режущим контуром, а при обычном шлифовании определённое влияние имеет размазывание размягчённого материала. Уменьшение высоты шероховатости поверхности нельзя считать положительным фактором, так как после шлифования обычным кругом, как правило, на поверхности обнаруживаются прижоги и густая сетка шлифовочных трещин.

Режимы шлифования значительно влияют на высоту шероховатости. С ростом глубины резания и поперечной подачи высота шероховатости увеличивается как при обычном, так и при прерывистом шлифовании.

Требуемые значения параметров качества можно определить с помощью комплексных параметров свойств поверхностного слоя. Так, комплексный параметр свойств поверхностного слоя детали, определяющий её несущую способность (контактную жёсткость), имеет вид [5, 6]:

$$\Pi = \left(\frac{Rp^v Wp^2 Hp^2}{k} \right)^{\frac{1}{v+4}}, \quad (1)$$

где Wp, Hp – высота сглаживания соответственно волнистости и макроотношения поверхности детали; v – параметр экстраполяции начального участка кривой относительных опорных длин профиля шероховатости поверхности ($v \approx 2$ [5, 6]); k – отношение микротвёрдости поверхности после шлифования и исходной микротвёрдости поверхности.

Аналогичный параметр, определяющий трение и износ деталей, рассчитывается по формуле [7, 8]:

$$C_x = \frac{Rp^4 Hp Wp}{Sm^6 k^{12}}, \quad (2)$$

где Sm – средний шаг неровностей профиля шероховатости.

При шлифовании существуют следующие зависимости между параметрами шероховатости поверхности [5]:

$$\left. \begin{aligned} Sm &= 1 \cdot 10^{-2} (\rho Ra)^{0.5}; \\ Rp &= 2,7 Ra, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ρ – радиус округления вершины зерна.

Подставляя уравнение (3) в (2) получим:

$$C_x \approx \frac{2 \cdot 10^{13} Rp Hp Wp}{\rho^3 k^{12}}. \quad (4)$$

Определение параметров качества поверхности по зависимостям (1) и (4) осложняется тем обстоятельством, что выбранные значения параметров качества поверхности должны быть одновременно сформированы на обрабатываемой поверхности по завершению процесса шлифования. Аналитическое решение названной проблемы возможно, если большему значению любого из параметров качества поверхности (в данном случае - Rp, Wp, Hp, k^{-1}) соответствуют большие значения других рассматриваемых параметров качества. Так, анализ результатов исследований [5] показывает, что, например, при большой производительности процесса шлифования получают больш-

шие значения R_p, W_p, H_p, k^{-1} и наоборот. Следовательно, такое соответствие между параметрами качества шлифованной поверхности существует в реальных условиях. Тогда для выбора требуемой совокупности значений параметров качества необходимо задаться некоторой функцией, которая должна учитывать возможности процесса шлифования по обеспечению параметров качества поверхности. И при подстановке в данную функцию искомым параметров качества должен наблюдаться её экстремум (максимум или минимум). Этим условиям отвечает функция вида

$$Z = \frac{R_1}{R_{1\max} + R_{1\min}} \gamma_1 + \frac{R_2}{R_{2\max} + R_{2\min}} \gamma_2 + \dots + \frac{R_n}{R_{n\max} + R_{n\min}} \gamma_n, \quad (5)$$

где R_i – рассматриваемый параметр качества поверхности или обратная этому параметру величина ($i = \overline{1, n}$); n – число искомым параметров качества поверхности; $R_{i\max}$, $R_{i\min}$ – максимальное и минимальное значения i -го параметра качества из соответствующего диапазона его изменений, обусловленного, например, вариацией производительности процесса шлифования (данные значения могут быть определены экспериментально для конкретных производственных условий, рассчитаны по приведенным аналитическим зависимостям или получены из справочных данных [7]); $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – коэффициенты, учитывающие различную степень влияния параметров R_1, R_2, \dots, R_n на комплексный параметр свойств поверхностного слоя детали.

В качестве ограничения при выборе параметров качества поверхности должны использоваться уравнения (1) и (4) или подобные им зависимости, которые могут быть представлены в виде:

$$T = (R_1)^{a_1} (R_2)^{a_2} \times \dots \times (R_n)^{a_n}, \quad (6)$$

где T – некоторая величина, которую необходимо обеспечить в ходе шлифования; a_1, a_2, \dots, a_n – показатели степеней величин R_1, R_2, \dots, R_n .

Для упрощения дальнейших математических преобразований запишем уравнение (6) несколько иначе

$$\ln T = a_1 \ln R_1 + a_2 \ln R_2 + \dots + a_n \ln R_n. \quad (7)$$

Таким образом, имеется целевая функция $Z = f(R_1, R_2, \dots, R_n)$ и единственное ограничение (7). Требуется найти совокупность значений R_1, R_2, \dots, R_n , при которой будет наблюдаться экстремум целевой функции. Для решения этой задачи воспользуемся методом множителей Лагранжа.

Функция Лагранжа применительно к данной задаче будет иметь вид:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n R_i / (R_{i\min} + R_{i\max}) * \gamma_i + \lambda [\ln T - a_1 \ln R_2 - \dots - a_n \ln R_n] \quad (8)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Зависимости для расчёта величин R_1, R_2, \dots, R_n получим из уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial R_1} &= \frac{\gamma_1}{R_{1\min} + R_{1\max}} - \lambda a_1 \frac{1}{R_1} = 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial R_2} &= \frac{\gamma_2}{R_{2\min} + R_{2\max}} - \lambda a_2 \frac{1}{R_2} = 0; \\ &\vdots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial R_n} &= \frac{\gamma_n}{R_{n\min} + R_{n\max}} - \lambda a_n \frac{1}{R_n} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Откуда

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \lambda a_1 (R_{1\min} + R_{1\max}) / \gamma_1; \\ R_2 &= \lambda a_2 (R_{2\min} + R_{2\max}) / \gamma_2; \\ &\vdots \\ R_n &= \lambda a_n (R_{n\min} + R_{n\max}) / \gamma_n \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (2.19) и (2.15), получим выражение λ :

$$\lambda = \left[\frac{T}{\left(\frac{a_1 [R_{1\min} + R_{1\max}]}{\gamma_1} \right)^{a_1} \left(\frac{a_2 [R_{2\min} + R_{2\max}]}{\gamma_2} \right)^{a_2} \times \dots \times \left(\frac{a_n [R_{n\min} + R_{n\max}]}{\gamma_n} \right)^{a_n}} \right]^b; \quad (11)$$

$$b = (a_1 + a_2 + \dots + a_n)^{-1}.$$

Таким образом, определив величину λ , по уравнениям (11) можно рассчитать искомые значения параметров качества шлифуемой поверхности. С целью учёта конкретных производственных условий и при необходимости, полученные значения параметров могут быть скорректированы.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М., «Машиностроение», 1974г. – 320с. 2. Ящерицин П.И. Повышение эксплуатационных свойств шлифованных поверхностей. Минск, «Наука и техника», 1966г. – 384с. 3. Маталин А.А. Качество поверхности и Эксплуатационные свойства машин. М. – Л., Машгиз, 1956г. – 252с. 4. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М., «Машиностроение», 1975г. – 176с., ил. 5. Бишутин С.Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании: Монография. - М., Машиностроение – 1, 2004г. – 144с., ил. 6. Бишутин С.Г. Прогнозирование состояния поверхностного слоя шлифовальных деталей// Справочник. Инженерный журнал. – 2002г. - №8. – с.59-61. 7. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф., Узунян М.С. Основы алмазного шлифования. Киев, «Техника», 1978г. – 192с. 8. Качество машин: Справ.: В 2 т./ А.Г. Сулов, Ю.В. Браун, Н.А. Виткевич и др.. - М.: Машиностроение, 1995г. – Т.1. – 256с.

ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КАМНЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗК

Горобец И.А., Рудой Е.Р. (каф. ТМ, ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк)

Аннотация: Проведение экспериментальных исследований содержит ряд последовательных действий и расчётов. Разработан план, основанный на принципах полнофакторного эксперимента, выявлены факторы факторного пространства и диапазон их варьирования. Обработка результатов экспериментальных исследований предусматривает использование принципов оценки статистических данных по сравнению выборочных средних величин съёма слоя обрабатываемого материала и производительности шлифования.

Ключевые слова: эксперимент, шлифование, планирование, обработка, оборудование, методы, оценка, производительность.

Целью проведения экспериментальных исследований является доказательство повышения производительности обработки шлифования гранита с использованием ультразвуковых колебаний (УЗК).

Задачами проведения эксперимента являются: выбор методов и средств проведения исследований; планирование эксперимента; обоснование методов обработки полученных экспериментальным путём данных; проведение анализа полученных экспериментальным путём данных.

В качестве методов проведения эксперимента принята тензометрия процессов шлифования природного камня. Средствами проведения экспериментальных исследований являются

- модернизированный вертикально-фрезерный станок модели 6М13П лаборатории кафедры [1];
- алмазный круг АГШГ Д160 мм АС50 400/315 М6-14.50% ТУ 88 Украины 90. 513-81 производства ИСМ НАНУ, рис.1, 2;
- специальная головка для установки торцевого шлифовального инструмента и подачи СОЖ через центральное отверстие шлифовального круга [1], рис.3;
- специальное измерительное устройство на базе индикатора часового типа [1], рис.4;

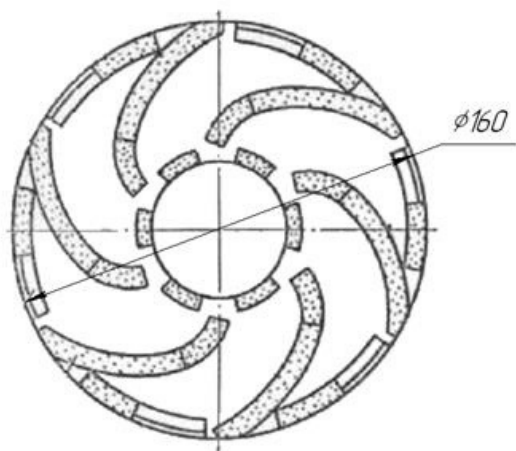


Рис 1. Схема конструкции алмазного круга АГШГ



Рис 2. Вид алмазного круга АГШГ

- измерительный комплекс на базе тензометрического усилителя ТА-5, аналого-цифрового преобразователя Pico ADC-16 и персонального компьютера со специальным программным обеспечением на базе приложения MS Excel, рис.5;



Рис.3. Вид специальной головки для установки торцевого шлифовального инструмента и подачи СОЖ



Рис.3. Вид специального измерительного инструмента

- комплект специального вибростола, генератора УЗК модели УЗГ1-1 и преобразователя УЗК модели ПНС 1-1, рис. 6.



Рис.4. Вид измерительного комплекса



Рис.5. Вид генератора модели УЗГ1-1



Рис.6. Вид преобразователя модели ПНС 1-1

Планирование проведения эксперимента является одним из важных этапов исследований, необходимым для определения представительности выборки из всей генеральной совокупности возможных вариантов, количества проведения опытов, на основе вероятностной оценки получения достоверных результатов, количество повторений опытов, граничных значений факторов факторного пространства эксперимента, вида плана проведения исследований [2, 3, 4].

В качестве представительной выборки для проведения экспериментальных исследований принят гранит Корнинского месторождения (твёрдость 210 МПа, плотность $2,62 \div 2,82 \text{ г/см}^3$).

Количество опытов определим по формуле [3,4]:

$$n = \frac{t_c^2 \cdot S^2 + \varepsilon^2}{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

где t_c - аргумент функции Стьюдента [4], для заданных условий $t_c = 2,1$; S - среднее квадратическое отклонение; ε - точность измерений.

Для уровня доверительной вероятности $p = 0,95$ и точности измерений $\varepsilon = 1,5$ мкм получим:

$$n = \frac{2,1^2 \cdot 1,7^2 + 1,5^2}{1,5^2} = 6,7 \approx 7$$

Количество повторов измерений принимается равной $n=7$. В результате статистической обработки данных определена величина среднего квадратического отклонения - 1,7 мкм.

Вид плана проведения эксперимента – полный факторный эксперимент (ПФЭ). Во время шлифования поверхности заготовки из гранита, изделие обрабатывается двойными ходами на разных режимах резания. В качестве изменяемых факторов факторного пространства приняты подача S , частота вращения шпинделя n (скорость главного движения V) и глубина шлифования t . Значения этих факторов принято изменять от минимума до максимума с промежуточным значением в середине интервала каждого из факторов. Выходные величины эксперимента: величина съёма материала h .

Уровнями варьирования факторов приняты:

- n , частота вращения шпинделя – 1600 об/мин;
- S , подача: 400; 630; 800 мм/мин;

– t , величина припуска: 0,4; 0,6; 0,8 мм.

Эксперимент проводится в 2 этапа: без применения и с применением УЗК вибростола. Подробная методика проведения подобных экспериментов по обработке камня приведена в [5].

Методы обработки результатов экспериментальных данных основаны на известных статистических зависимостях, изложенных в [3-5] и заключаются в сравнении двух выборочных средних производительности обработки заготовки шлифованием. Так, в результате замеров производительности традиционным способом шлифования камня и усовершенствованным (путём использования УЗК) получены две выборки. Первая – число замеров n_1 ; математическое ожидание \bar{x}_1 ; дисперсия S_1^2 . Вторая – число замеров n_2 ; математическое ожидание \bar{x}_2 ; дисперсия S_2^2 . При этом $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$. Ставится вопрос: можно ли утверждать, что различие между \bar{x}_1 и \bar{x}_2 значимо? Иными словами, можно ли утверждать, что использование вибростола с генератором УЗК дало положительные результаты?

Обозначим

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = Z \quad (2)$$

Z будет значимой величиной, если выйдет за пределы доверительного интервала

$$\mu_z - t_\alpha S_z \leq Z \leq \mu_z + t_\alpha S_z. \quad (3)$$

Предположим, что различие между \bar{x}_1 и \bar{x}_2 незначимо, т.е.

$$\mu_z = 0 \quad (4)$$

Тогда доверительный интервал

$$Z = \pm t_\alpha S_z \quad (5)$$

Но

$$S_z^2 = \left(\frac{\partial Z}{\partial x_1} \right)^2 \cdot S_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_2} \right)^2 \cdot S_{x_2}^2, \quad (6)$$

тогда

$$S_z^2 = S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2; \quad (7)$$

так как

$$S_x^2 = \frac{S_x^2}{n}, \quad (8)$$

то

$$S_z^2 = \frac{S_{x_1}^2}{n_1} + \frac{S_{x_2}^2}{n_2} \quad (9)$$

Если $S_{x_1}^2$ и $S_{x_2}^2$ однородны, а только в этом случае можно сравнить $\overline{x_1}$ и $\overline{x_2}$,
то

$$S_z^2 = S_{CB}^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \quad (10)$$

или

$$S_z = S_{CB} \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \quad (11)$$

Таким образом, доверительный интервал

$$Z = \pm t_{\alpha} S_{CB} \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \quad (12)$$

Критерий t_{α} берётся для соответствующего уровня значимости и числа степеней свободы [4].

$$f = n_1 + n_2 - 2 \quad (13)$$

Для получения 2D и 3D графиков величины съёма материала в зависимости от подачи S и глубины шлифования t возможно использование специализированного ПО Matlab.

Выводы. Для проведения экспериментальных исследований разработан план, основанный на принципах полнофакторного эксперимента, определены факторы и диапазон их варьирования. Обработка результатов экспериментальных исследований реализована известными принципами оценки статистических данных по сравнению выборочных средних величин съёма слоя обрабатываемого материала и производительности шлифования.

Список литературы: 1. Михайлов, А.Н. Экспериментальная установка для исследования процессов шлифования изделий из природного камня / А.Н.Михайлов, И.А.Горобец, А.В.Байков, Н.В.Голубов, А.Л.Ищенко// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.71. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – с.164 – 174. 2. Болтян, А.В. Прогнозирование и оценка параметров продукции: Учебное пособие / А.В. Болтян., И.А. Горобец – Донецк: ДОННТУ, 2010.- 146с. 3. Болтян, А.В. Теория инженерных исследований: учебное пособие / А.В.Болтян, И.А.Горобец (издание 3-е переработанное и дополненное ISBN 966-8085-80-9) – Донецк: ДонНТУ, 2011.- 172с. 4. Рыжов, Э.В. Математические методы в технологических исследованиях/ Э.В.Рыжов, О.А. Горленко – Киев: Наук. думка, 1990. – 184 с. 5. Горобец, И.А. Методика экспериментальных исследований процесса шлифования изделий из камня / И.А.Горобец, А.Н.Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ООО «Лебедь», 2004. Вып. 27. С. 82-88.

УДК 621.01.03.075

ТЕХНОЛОГИЯ СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ КОНТАКТА
ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ

Тюрин А.Н., д-р техн. наук, проф., член – корр. НИА РК
АО «Научно-исследовательский институт «Гидроприбор»
Республика Казахстан.
Тел/факс: 8 777 563 46 17,
Email: sciencetech2919@gmail.com

Аннотация: В данной работе предложен новый подход к исследованию эффективности технологических процессов. На примере проведенного анализа видно, что, используя достаточно универсальные и простые энергетические критерии, можно сделать быстрый сравнительный анализ различных способов и даже методов обработки, выбрать из них наиболее эффективный и усовершенствовать существующую технологию. Это вооружает технологов-машиностроителей и научных работников мощным оружием в области поиска резервов повышения эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: абразивная обработка, суперфиниширование, единовременный объем материала, коэффициент суперфиниширования, эффективная мощность суперфиниширования.

1. Введение

Известно [1,2 и др.], что качество таких точных изделий, как подшипники качения, во многом зависит от эффективности финишных операций технологического процесса их изготовления.

Формирование внутренней геометрии подшипников окончательно осуществляется как правило на операциях суперфиниширования рабочих поверхностей их деталей [3,4].

© Тюрин А.Н.; 2021 г.

Анализ преимуществ и недостатков существующих способов суперфиниширования достаточно полно изложен в работах [5-7], выполненных при участии авторов, в связи с чем в данной работе приводятся лишь некоторые выводы.

2. Определение энергетических показателей эффективности технологического процесса суперфиниширования.

Низкую эффективность традиционной технологии суперфиниширования можно показать на основе некоторых критериев. Как известно, работа резания режущим инструментом определяется по зависимости [8-9 и др.]:

$$A = P_z \cdot v \cdot t,$$

где P_z - тангенциальная сила, возникающая при обработке;

v - скорость резания;

t - время обработки.

Работа резания осуществляется непрерывно в течение длительного времени. Поэтому энергетическую значимость этого процесса удобнее выразить через мощность обработки:

$$W = P_z \cdot v.$$

С помощью критерия мощности в ряде случаев можно оптимизировать режимы резания. Однако этот критерий неудобен для сравнения эффективности резания различными методами обработки. В этом случае более подходит критерий - удельная мощность резания, т.е. затраты мощности на единицу удаленного объема материала заготовки:

$$W_z = \frac{P_z \cdot v}{V}.$$

В качестве показателя качества процесса резания следует использовать скорость формирования единовременного объема материала, равную отношению полезной мощности резания к удельной внутренней энергии насыщения материала :

$$V_t = \frac{W\varphi}{E_0}. \quad (1)$$

Коэффициент потери мощности в процессе резания можно определить по формуле:

$$\varphi_z = \frac{P_z - P_n f_z}{P_z},$$

где P_n - нормальная сила прижима инструмента к заготовке;

f_z - коэффициент трения скольжения режущего элемента по обрабатываемой поверхности [9].

Формула (1) вполне годится для обработки лезвийным инструментом. Но для обработки абразивным инструментом необходимо учесть, что процесс абразивной обработки является дискретным и поэтому понятие единовременной работы или мощности резания может относиться только к единичному абразивному зерну. Кроме того, рабочая поверхность абразивного инструмента имеет склонность к засаливанию, т.е. она в процессе снятия припуска забивается стружкой и шламом [10], отчего коэффициент потери энергии при абразивной обработке снижается, но это не учитывается формулой (1).

В работе [8] установлены зависимости, связывающие тангенциальную P_{zz} и нормальную P_{nz} силы резания абразивным зерном с глубиной резания:

$$\begin{aligned} P_{zz} &= 34\tau a^2 (1 + 1,5f_z(1 + \xi)); \\ P_{nz} &= 51\tau a^2 ((1 + \xi)), \end{aligned} \quad (2)$$

где τ – напряжение сдвига;

a - глубина резания;

ξ - усадка стружки.

Удельная энергия насыщения материала:

$$E_0 = \frac{P_{zz}vt}{F_i l_i}, \quad (3)$$

где F_i - площадь поперечного сечения царапины, равная:

$$F_i = 2,5a^2, \quad (4)$$

l_i - длина царапины, равная $l_i = v \cdot t$.

Раскрывая значение тангенциальной силы резания (2) и подставляя в равенство

(3) значения F_i (4) и l_i , получим:

$$E_0 = 13,6 \cdot \tau \cdot (1 + 1,5 f_z (1 + \xi)). \quad (5)$$

На основании (2) коэффициент потери энергии при резании абразивными зерном:

$$\varphi_z = \frac{P_{zz} - P_{nz} \cdot f_z}{P_{zz}} = 1 - \frac{51 \cdot (1 + \xi) \cdot f_z}{34(1 + 1,5 f_z (1 + \xi))}. \quad (6)$$

Например, усадка стружки для стали ШХ-15 $\xi = 1,5$, а $f_z = 0,2$ [8]. Тогда по формуле (6) найдем:

$$\varphi_z = 1 - \frac{51 \cdot (1 + 1,5) \cdot 0,2}{34(1 + 1,5 \cdot 0,2 \cdot (1 + 1,5))} = 0,57.$$

Введем обозначения:

P_{zr} - тангенциальная сила резания абразивными зернами;

P_{nr} - нормальная сила резания абразивными зернами;

P_{zs} - тангенциальная сила трения связки об обрабатываемую поверхность;

P_{ns} - нормальная сила реакции связки.

Отношение тангенциальной силы резания абразивным зерном к нормальной составляет

$$K_z = \frac{P_{zz}}{P_{nz}} = \frac{34(1 + 1,5 \cdot 0,2 \cdot (1 + 1,5))}{51(1 + 1,5)} = 0,47.$$

Коэффициент потери энергии при суперфинишировании в случае частичного засаливания инструмента:

$$\varphi = \frac{P_z - P_{zs} - P_{nr} f_z}{P_z}. \quad (7)$$

Так как

$$P_z = P_{zs} + P_{zr},$$

то выражение (7) примет вид:

$$\varphi = \frac{P_{zr}}{P_z} \left(1 - \frac{P_{nr} f_z}{P_{zr}} \right).$$

Но так как

$$P_{zr} = P_{zz} \cdot z, \text{ а } P_{nr} = P_{nz} \cdot z,$$

где z - число режущих зерен, то

$$\varphi = \frac{P_n}{P_z} \frac{P_{nr}}{P_n} K_z \left(1 - \frac{f_z}{K_z} \right). \quad (8)$$

Обозначим

$$f_t = \frac{P_z}{P_n} \quad (9)$$

и назовем эту величину коэффициентом суперфиниширования. Преобразуем равенство (9):

$$f_t = \frac{P_{nr}}{P_n} \left(\frac{P_{zr}}{P_{nr}} + \frac{P_{zs}}{P_{nr}} \right) = \frac{P_{nr}}{P_n} \left(\frac{P_{zr}}{P_{nr}} + \frac{P_n - P_{nr}}{P_{nr}} f_s \right), \quad (10)$$

где f_s - коэффициент трения связки об обрабатываемую поверхность.

При полном засаливании бруска, когда он перестает резать, коэффициент трения скольжения связки по обрабатываемой поверхности $f_s = P_{zs} / P_{ns} = 0,2$ и меньше.

Окончательно после преобразований найдем:

$$f_t = \frac{P_{nr}}{P_n} (K_z - f_s) + f_s. \quad (11)$$

Как видно из равенства (11), при отсутствии засаливания инструмента, т.е. когда внешняя нормальная нагрузка полностью уравнивается нормальной силой резания инструмента: $P_{nr} = P_n$, коэффициент суперфиниширования равен коэффициенту абразивного резания $f_t = K_z$. При полном засаливании инструмента, когда внешнюю нагрузку полностью уравнивает нормальная реакция стружки и шлама, а $P_{nr} = 0$, то коэффициент суперфиниширования равен коэффициенту трения стружки и шлама об обрабатываемую поверхность: $f_t = f_s$.

Подставляя выражение (11) в равенство (8), найдем коэффициент потери энергии:

$$\varphi = \frac{K_z}{(K_z - f_s) + f_s \frac{P_n}{P_{nr}}} \left(1 - \frac{f_z}{K_z} \right). \quad (12)$$

На рис. 1 показано изменение коэффициента суперфиниширования, коэффициента потери энергии при суперфинишировании по мере засаливания инструмента и изменение соотношения между нормальной силой резания и нормальной силой прижима инструмента к обрабатываемой поверхности.

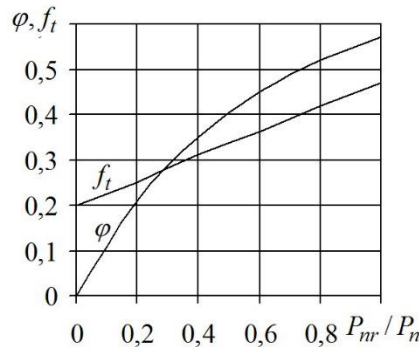


Рис. 1. Зависимость коэффициента суперфиниширования f_t и коэффициента потери полезной энергии φ от соотношения P_{nr}/P_n нормальной силы резания к силе прижима инструмента к обрабатываемой поверхности

Как видно из рис. 1, с увеличением доли внешней нагрузки, приходящейся на абразивные зерна, значения коэффициентов f_t и φ возрастают. Следовательно, коэффициент суперфиниширования однозначно характеризует работоспособность инструмента.

Скорость формирования единовременного объема материала с учетом равенства (1) равна:

$$V_t = \frac{P_z \cdot v}{E_0} \cdot \varphi. \quad (13)$$

Из соотношения (9):

$$P_z = P_n \cdot f_t. \quad (14)$$

Используя выражение (14), из равенства (4.13) получим:

$$V_t = \frac{P_n \cdot v}{E_0} \cdot f_t \cdot \varphi. \quad (15)$$

Раскрывая в равенстве (15) значение внутренней удельной энергии насыщения материала заготовки (5), определим:

$$V_t = 0,74 \frac{P_n \cdot v}{\tau \cdot (1 + 1,5 f_z \cdot (1 + \xi))} \cdot f_t \cdot \varphi. \quad (16)$$

Так как величина V_t используется нами для оценки качества обработки, то, как видно из выражения (16), качество обработки будет тем выше, чем меньше скорость резания v , сила прижима бруска к заготовке P_n , коэффициент φ и выше прочность материала заготовки τ . Это вполне согласуется с практикой суперфинишной обработки, так как известно, что чем меньше оставляют абразивные зерна на поверхности заготовки риски и чем больше степень засаливания бруска, тем шероховатость поверхности получается ниже, а это – один из важнейших показателей качества обработки при суперфинишировании. Скорость заготовки v при суперфинишировании, с одной стороны, способствует увеличению съема металла, и, следовательно, качество поверхности должно уменьшаться. Но, с другой стороны, с увеличением скорости заготовки увеличивается степень засаливания инструмента, и это способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

Припуск при суперфинишировании настолько мал, что его даже не назначают на эту операцию при разработке технологических процессов. Однако это не значит, что он не определяет эффективность процесса суперфиниширования. Со снятием припуска удаляется дефектный слой на заготовке, возникший на предшествующей шлифовальной операции, исправляются погрешности геометрической формы заготовки, снимается исходный шероховатый слой. Поэтому при суперфинишировании желательно обеспечить надежное удаление дефектного слоя заготовки, а следовательно, необходимо предусматривать припуск на обработку.

К сожалению, при суперфинишировании с использованием традиционных способов, при которых абразивный инструмент в течение всего времени суперфиниширования прижимается всей своей рабочей поверхностью к обрабатываемой поверхности заготовки, не обеспечивает возможности снятия с заготовки значительного припуска, так как инструмент быстро засаливается и перестает резать. Действительно, мощность резания при суперфинишировании:

$$W = P_z \cdot v = P_n \cdot v \cdot f_t. \quad (17)$$

Более точно производительность обработки при суперфинишировании характеризует эффективная мощность резания. Эффективную мощность резания определим умножением равенства (17) на коэффициент потери энергии (12):

$$W_\varphi = P_z \cdot v = P_n \cdot v \cdot f_t \cdot \varphi. \quad (18)$$

Сопоставим значения мощности и эффективной мощности при суперфинишировании с величиной снимаемого припуска. Из работы [10] следует, что объем пор рабочей поверхности абразивного инструмента равен:

$$V_p = N_z \cdot d_0 \cdot S_i, \quad (19)$$

где N_z - коэффициент, зависящий от структуры и твердости абразивного инструмента;
 d_0 - средний диаметр абразивных зерен;
 S_i - площадь рабочей поверхности инструмента.

С учетом равенства (4.16) снимаемый при обработке припуск за время t :

$$V_s = V_{tz} \cdot z \cdot t = 34\tau a^2 (1 + 1,5 f_t (1 + \xi)) \frac{v}{E_0} \cdot z \cdot t_0, \quad (20)$$

где t_0 - время непрерывного контакта рабочей поверхности бруска с заготовкой;

z - число "рабочих" зерен на рабочей поверхности заготовки, находящихся в контакте с обрабатываемой поверхностью.

Число зерен на поверхности инструмента:

$$z = \frac{P_{nr}}{P_{nz}} = \frac{P_n}{51 \cdot \tau \cdot a^2 (1 + \xi)} \cdot \frac{P_{nr}}{P_n}. \quad (21)$$

Подставляя выражение (21) в равенство (20), получим:

$$V_s = \frac{0,67 \cdot (1 + 1,5 f_z (1 + \xi)) P_n}{1 + \xi} \frac{v}{E_0} \frac{P_{nr}}{P_n} \cdot t_0. \quad (22)$$

Или, раскрывая в (22) значение E_0 (5), получим:

$$V_s = \frac{0,049}{1 + \xi} \cdot \frac{v}{\tau} \cdot P_{nr} \cdot t_0. \quad (23)$$

Отношение нормальной силы резания к силе прижима инструмента можно оценить соотношением:

$$\frac{P_{nr}}{P_n} = \frac{V_p - V_s}{V_p}.$$

Подставляя это выражение в равенства (19) и (23), найдем:

$$\frac{P_{nr}}{P_n} = 1 - \frac{0,67(1 + 1,5 f_z (1 + \xi)) \cdot P_n \cdot v \cdot t}{N_z \cdot d_0 \cdot S_i (1 + \xi) E_0} \frac{P_{nr}}{P_n}$$

Из этого выражения

$$\frac{P_{nr}}{P_n} = \frac{N_z \cdot d_0 \cdot S_i (1 + \xi) E_0}{N_z \cdot d_0 \cdot S_i (1 + \xi) E_0 + 0,67(1 + 1,5 f_z (1 + \xi)) \cdot P_n \cdot v \cdot t_0}. \quad (24)$$

Подставляя в равенство (24) выражение (5), найдем:

$$\frac{P_{nr}}{P_n} = \frac{N_z \cdot d_0 \cdot S_i (1 + \xi) \tau}{N_z \cdot d_0 \cdot S_i (1 + \xi) \tau + 0,049 \cdot P_n \cdot v \cdot t_0}. \quad (25)$$

На основании равенства (23) несложно найти линейный съём припуска за время в расчете на диаметр заготовки:

$$q(t) = \frac{V_s}{\pi \cdot d \cdot l_z}, \quad (26)$$

где d - диаметр заготовки;
 l_z - длина профиля заготовки.

3. Выводы

Как видно из выражений (23) и (26), объем снимаемого припуска при суперфинишировании не остается постоянным, а существенно изменяется во времени. С увеличением времени обработки съем металла снижается. Сложное влияние на производительность обработки оказывают сила прижима инструмента к обрабатываемой поверхности, зернистость инструмента, скорость резания и другие факторы. С одной стороны, с возрастанием значений этих факторов производительность возрастает, но, с другой стороны, по истечении некоторого времени снижается число режущих зерен, и производительность падает. По мере снижения скорости съема припуска уменьшается мощность суперфиниширования. Это подтверждает, что мощность обработки адекватно отражает производительность процесса. А так как этот показатель прост в вычислении, то он может заменить при анализе эффективности технологических процессов другие более сложные в определении параметры обработки. Особенно явно изменение в течение времени полезной мощности, которая может служить при определении сравнительной эффективности самых разнообразных процессов.

Список литературы: 1. Вениаминов К.Н., Василевский С.В. Влияние финишной операции на долговечность подшипников качения // Труды института. 1989. № 1. - М.: Специнформцентр ВНИППа. **2.** Кремень З.И. Влияние способа абразивной обработки на качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей. // Прогрессивная технология абразивной обработки и абразивный инструмент. - Л.: ЛДНТН, 1980. - С. 8-15. **3.** Черневский Л.В. Основные направления повышения качества и долговечности подшипников на основе совершенствования технологии шлифовально-доводочной обработки рабочих поверхностей деталей. // Труды ВНИПП. 1980. № 4 (106). - С. 7-17. **4.** Колтунов И.Б. и др. Прогрессивные процессы абразивной алмазной и эльборовоной обработки в подшипниковом производстве. - М.: Машиностроение, 1976. - 30 с. **5.** Королев А.В., Чистяков А.М., Давиденко О.Ю. Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Часть 3. Технология многобрускового формообразующего суперфиниширования с локализацией контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. - Саратов: СГТУ, 1997. - 152 с. **6.** Тюрин А.Н., Королев А.В. Оценка качества брусковой обработки деталей энергетическими параметрами процесса. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана серия «Машиностроение» №4(73) 2008г. - С. 65-72. **7.** Тюрин А.Н., Королев А.В., Королев А.А. Связь энергии резания с интенсивностью съема припуска при суперфинишировании абразивным инструментом. // «Вестник Машиностроения» №5 2009г. С.59-62. **8.** Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Часть 2. Взаимодействие инструмента и заготовки при абразивной обработке. - Саратов: Саратов. гос. ун-т, 1989. - 160 с. **9.** Brandin H. Werkstoffabtrag, Honsteinverschleiß und Oberflächengüte beim Kurzhubhonen. / Schleifen, Honen, Zäppen und Polieren. Verfahr und Maschinen 50 Ausg., Essen, 1981, p. 376-385. **10.** Корьячев А.Н., Косов М.Г., Лысанов Л.Г. Контактное взаимодействие бруска с желобом кольца подшипника при суперфинишировании // Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - 1981. - № 6. - С. 34-39.

НЕКОТОРЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

Рябичев В.Д., Витренко В.А. (ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)

Тел./Факс: + 38 (0642) 341826; E-mail: vitrenko.vl@gmail.com

Abstract: The article presents major scientific developments of Lugansk V.Dahl National University. New modern technologies in the sphere of mechanical treatment, metallurgy, nano-technologies, science of materials, powder metallurgy have been presented. The role of science in economic development of the region has been stressed.

В статье приведены основные научные разработки ученых нашего университета. Показаны современные технологии в областях механообработки, металлургии, нанотехнологий, материаловедения, порошковой металлургии. Подчеркнута роль науки в экономическом развитии региона.

Key words: tools, foundry, nano-technology, crystals, powder materials, welding.

Инструмент, литье, нанотехнологии, кристаллы, порошковые материалы, сварка.

ГОУ ВО «Луганский Государственный университет имени Владимира Даля» – является ведущим учебным заведением Луганщины и имеет в своем составе уникальные научные центры республиканского и межгосударственного значения.



Научные интересы охватывают многие отрасли науки и техники: от медицины до современного материаловедения, от металлургии и тяжелого машиностроения до микроэлектроники и являются источником накопления знаний, получаемых студентами в университете.

В университете накоплен уникальный теоретический и практический опыт подготовки современного инженера. Основным императивом практической деятельности

университета является создание условий для формирования свободного, творческого человека, ощущающего себя неотъемлемой частью целого Мира, человека фундаментально подготовленного, обладающего практическими навыками, стремящегося к их совершенствованию.

Новые материалы и технологии их получения определяют не только уровень развития общества, но, что главнее, уровень жизни человека. Получение новых свойств уже известных материалов, безотходность их производства при минимуме трудоемкости и энергозатратах создают принципиально новый подход к организации производства. При этом минимизируются финансовые затраты, что дает развитие малым и средним предприятиям в области высоких технологий.

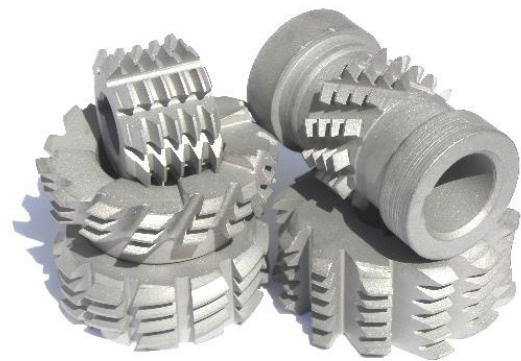
Производство художественных отливок Уровень развития литейного производства можно определить по качеству получаемых изделий, что особенно заметно при изготовлении художественных отливок произведений искусства. Достижение высокого качества отливки гарантируется разработкой новых связующих материалов в формовочных смесях, которые в 7-10 раз повышают ее вяжущие свойства. Учитывая, что процесс производства отливок достаточно дорогой, для уменьшения себестоимости выпус-

каемых изделий при отработке технологии и формы отливок широко используется 3D-моделирование. Таким образом, удалось существенно снизить себестоимость выпускаемой продукции и уменьшить до 60% вредные выбросы и отходы производства.



Многозаходный гиперболоидный зубообрабатывающий инструмент. Режущий инструмент является важнейшим элементом техники различных областей машиностроительной промышленности. На протяжении всей истории техники усовершенствование режущего элемента оказывали большое влияние на конструкцию машиностроения.

Основной задачей инструментального производства предприятия является не столько собственное развитие и результативное функционирование, сколько поддержание и повышение условий эффективной жизнедеятельности основного предприятия, наиболее сложным и существенным является процесс приспособления к условиям самого предприятия. Одно из важнейших направлений регулирования деятельности подразделений инструментального производства машиностроительного предприятия связано с повышением эффективности его функционирования.



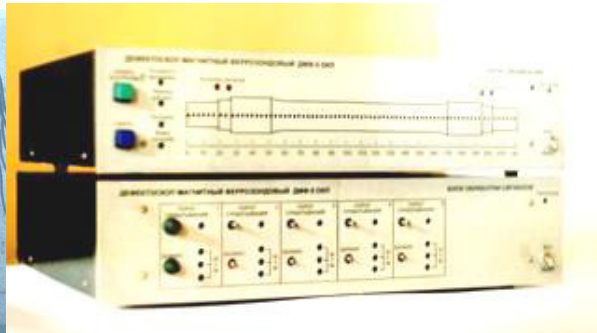
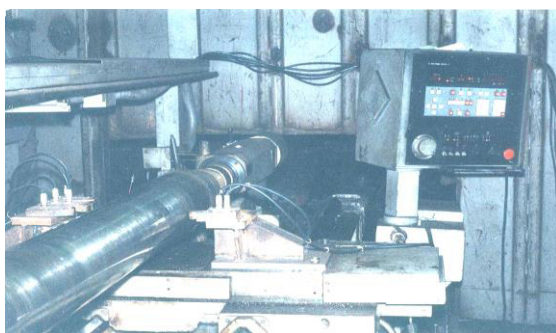
Инструмент с числом заходов зубьев от 2 х до 15 предназначен для нарезания зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес. Производительность нарезания зубьев в 15 раз выше производительности нарезания зубьев при помощи червячных фрез. Основная инструментальная поверхность инструмента совпадает с его производящей поверхностью, что позволяет получить геометрические и кинематические заданные углы в процессе его производства. Передний угол у предлагаемого инструмента

может быть от 0° до 35° в зависимости от материала обрабатываемого зубчатого колеса. Степень точности нарезаемых колес 5...7. Стойкость многозаходной фрезы в 10 раз выше стойкости стандартной червячной фрезы.



Дефектоскопы для контроля деталей подвижного состава железных дорог. Контроль осей колесных пар в условиях производства осуществляется роботизированным комплексом, построенным на базе электромагнитного дефектоскопа со специализированными датчиками для контроля поверхностей сложной геометрической формы (ступенчатых и галтельных переходов). Контроль осуществляется бесконтактным способом с гарантированным зазором до $3 \pm 0,1$ мм. Размеры выявляемых дефектов $0,001 \times 0,3 \times 5$ мм и глубиной залегания 5-7 мм. Контроль производится в остаточном магнитном поле, что исключает необходимость последующего размагничивания оси после контроля.

ном магнитном поле, что исключает необходимость последующего размагничивания оси после контроля.



Электроэнергетика и электротехника. Мировой опыт использования энергии ветра показывает, что экономически целесообразно использование данного вида энергии при средней скорости ветра 5 - 6 м/с и при годовой продолжительности ветра не менее 80 %.

По многолетним статистическим данным безветренных дней в Луганском регионе около 44 в году, что составляет 12% годового параметра. На рисунках 1 и 2 показаны процентное распределение скорости ветра в течение года и диаграмма распределения скорости ветра по месяцам в регионе.

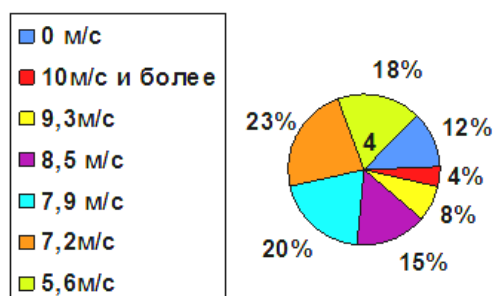


Рис. 1. Процентное распределение скорости ветра в течение года

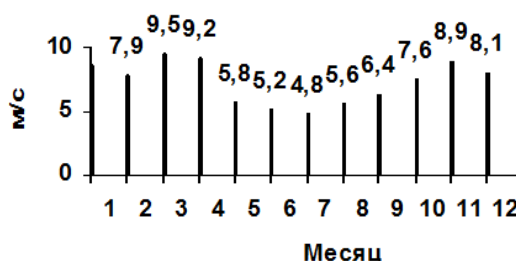


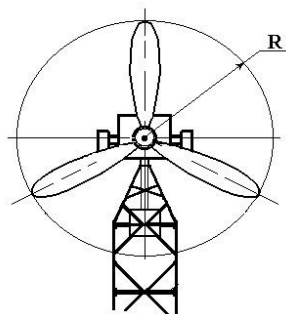
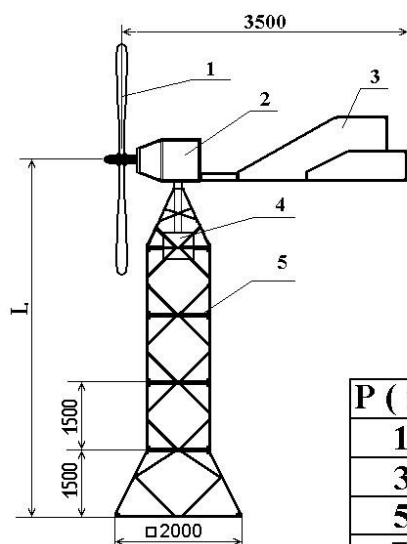
Рис. 2. Диаграмма распределения скорости ветра по месяцам

Как видно из статистических данных, Луганский регион соответствует всем показателям целесообразности использования энергии ветра, в том числе и с позиции экологической безопасности промышленного города. Сложившаяся сложная обстановка в энергоснабжении и экологии региона ставит вопрос о целесообразности разработок ветроэнергетических установок (ВЭУ), адаптированных к конкретным потребителям.

Потенциальными являются такие направления:

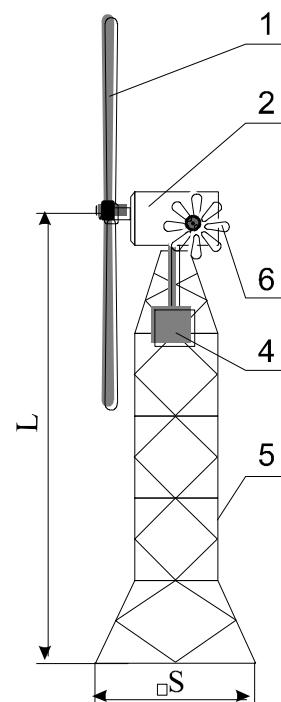
- разработка ВЭУ индивидуального подключения (городские коттеджи),
- разработка ВЭУ коллективного подключения (многоквартирные дома),
- разработка ВЭУ бесперебойного электроснабжения жизненно необходимых объектов (систем связи, сигнализации, систем аварийного управления и освещения и т.д.).

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) мощностью от 1500 до 10000 Вт предназначены для преобразования энергии ветра в электрическую энергию с переменным (50 Гц) и (или) постоянным напряжением 220 ± 10 В.



Р (кВт)	L (м)	R (м)
1.5	6	1.2
3.0	9	2.4
5.0	12	3.0
7.5	12-18	3.0-4.0
10	18	4.0-5.0

Для ветрогенераторов мощностью 3000 Вт и выше предусмотрен виндрозный механизм в качестве системы ориентации ветроколеса на ветер. Выходное напряжение генератора подается на аккумуляторы, являющиеся буфером, запаасающим энергию. Такая схема построения установки, необходима для работы в районах со значительными изменениями скорости ветра в короткие промежутки времени. И только после такого буфера, сглаживающего сильные изменения напряжения генератора, можно использовать преобразователи, дающие постоянное или привычное переменное напряжение 220 В. Постоянное напряжение выгодно использовать для питания электронагревательных приборов, поскольку их эффективность возрастает в этом слу-



1 - Лопасти; 2 - Редуктор;
3 - Киль; 4 - Генератор; 5 -
Мачта; 6 - Виндрозный
механизм

ВЭУ состоит из ветрогенератора, одного или двух преобразователей напряжения генератора в соответствующее напряжение 220 В и аккумуляторов. Ветрогенератор представляет собой мачту высотой от 6 до 18 м, на которой установлен 3-х лопастной пропеллер, вращение которого пере-

чае на 30%, переменное напряжение используется для питания бытовых приборов и других рассчитанных на него устройств.

ВЭУ малой мощности могут служить для обеспечения бытовых условий людей (свет, тепло, бытовые электроприборы) и для деятельности небольших предприятий или подразделений крупных хозяйств в сельской местности, где может вообще отсутствовать централизованное электроснабжение.

ВЭУ может применяться при освещении, питании сигнализаций и охранных устройств, телефонных станций, станций кабельного и спутникового телевидения в селах и деревнях, для круглосуточного поддержания теплового и светового режима в теплице, для бесперебойного электроснабжения инкубаторов и птицеферм, молочных ферм, машинно-тракторных станций, мельниц.

Сверхтихоходный генератор для возобновляемых источников энергии

Для комплектации систем генерации электроэнергии от возобновляемых источников энергии (ветроустановок, гидростанций и др.) разработан и проходит испытание сверхтихоходный многополосный генератор мощностью 10кВт. Максимальная мощность достигается при 100 об/мин, при этом КПД составляет



86%. Генератор обладает низким моментом трогания, который обеспечивается электронной системой коммутации выходных обмоток генератора. Каждая последующая обмотка генератора подключается при увеличении



нагрузки и частоты вращения генератора. В генераторе использованы постоянные редкоземельные магниты, что позволяет упростить конструкцию генератора и исключить его техническое обслуживание. Конструкция генератора соответствует лучшим мировым образцам и является конкурентоспособной на внешнем рынке.



Сверхзвуковая электродуговая металлизация.

Технология и оборудование основаны на использовании: сверхзвукового потока горячих продуктов сгорания метана с воздухом, электрической дуги, которая продольно обдувается, и специальной порошковой проволоки. Напыленное покрытие укрепляет и обеспечивает: повышенную износостойкость и повышенную устойчивость против задира при перегрузке, металлическом контакте, отсутствии масла, значительную экономию из-за увеличения межремонтного периода изделия.



Установка для резки монокристаллов кремния на пластины. Особенностью установки является то, что алмазный отрезной круг режет монокристалл внутренней кромкой. Диаметр алмазного круга теперь не зависит от диаметра монокристалла, а определяется только исходя из необходимой жесткости инструмента. Таким образом, инструмент способен разрезать кристаллы неограниченного диаметра при относительно малых размерах отрезаемого круга.

Список литературы: 1. Путь длиною в век Луганский Национальный Университет имени Владимира Даля. ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В. Даля». 2020г., 476с.

УГОЛЬНЫЙ КУЗБАСС: АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ УГЛЕХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Шеленберг Д.Я., Юровский В.В. (кафедра ТМ, КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Аннотация. В статье рассмотрено решение проблемы экологии Кузбасса, а также новый способ применения угля, посредством глубокой переработки и извлечением редкоземельных продуктов, которые по стоимости превосходят сам уголь и будут приносить огромную пользу в других отраслях промышленности.

Ключевые слова: глубокая переработка, уголь, полезные продукты.

Основной идеей является развитие глубокой переработки угля с целью получения полезных продуктов и извлечения ценных и редкоземельных химических элементов.

Кузбасс по запасам и качеству углей – крупнейший из всех каменноугольных бассейнов России, где на сравнительно небольшой территории сконцентрированы мощные угольные залежи с широкой гаммой углей, пригодных для коксования, получения жидкого топлива, сырья для химической промышленности и для других целей.

В регионе добывают коксующийся, бурый, гумусовый уголь и др. Кузбасс экспортирует добываемый уголь в 110 стран мира, что говорит о высоком качестве добываемого полезного ископаемого. К сожалению, в настоящее время техногенное воздействие на природу любого угольного предприятия остается негативным, трудно оценить тот экологический ущерб, который наносит природе бурная деятельность человека. Загрязнение окружающей среды влечет за собой изменение экологических параметров, которые происходят медленно и имеют эффект накопления. Лишь через несколько десятилетий проявятся неблагоприятные последствия, которые отразятся на природе и здоровье человека.

Угольные ресурсы являются источником редкоземельных элементов и других ценных веществ, которые востребованы в наукоемких отраслях и имеют высокую рыночную стоимость. Их концентрация в угле низка, но они присутствуют в каждом килограмме этого природного ископаемого. К примеру, в антраците могут содержаться

СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

германий, ванадий, золото, платина, серебро, хром, титан и т.д., но их количество очень мало: в 1 тонне угля может находиться 1-10 грамм золота, 0,1-1 грамм платины и т.д.

Программа социально-экономического развития Кемеровской области - Кузбасса до 2024 года предусматривает создание около 40 тысяч рабочих мест вне угольных отраслей. Часть этих мест может быть создана в рамках реализации нового важного проекта – создания и развития углехимической отрасли.

Глубокая переработка угля предполагает оптимальное использование энергетического ресурса топлива путем предварительного извлечения из него ценных веществ. Из угля можно извлекать множество полезных продуктов, численность которых превышает 160, так как в содержании угля находится огромное количество химических элементов. Мы предлагаем извлекать полезные вещества не сжиганием, а глубокой переработкой угля с целью получения редкоземельных металлов, таких как цирконий, ниобий, цезий и т.д.

Таким образом, после извлечения полезного продукта его добавленная стоимость будет намного больше, чем стоимость угля.

В связи с этим важную роль играет и вновь создаваемая отрасль углехимического машиностроения. Это потребует организации высокотехнологичных цифровых производств по всему жизненному циклу продукта, включая проектирование машин, технологий и средств технологического оснащения для их изготовления, внедрение, сервис и др.

Это позволит постепенно отходить от устаревающих технологий добычи и переработки угля к технологиям в рамках новой промышленной революции.

Список литературы: 1. Программа социально-экономического развития Кемеровской области - Кузбасса до 2024 года. 2. Программа развития инновационного территориального кластера «Комплексная переработка угля и техногенных отходов» в кемеровской области. 3. Министерство образования республики Беларусь. Белорусский Национальный Технический Университет Машиностроение. республиканский межведомственный сборник научных трудов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Калинин Н.К., Гусев В.В.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА ПОДАЧ ДЛЯ НАСТОЛЬНОГО СВЕРЛИЛЬНО -
ГРАВИРОВАЛЬНОГО СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ УЧЕБНЫХ ЦЕЛЕЙ 3
- Кулинченко А.Н., Полтавец В.В.**
ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ
ПРИВОДА ТАКТОВОГО СТОЛА В СОСТАВЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА 8
- Салосин В.И., Лахин А.М.**
ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ МОДЕЛЬНОЙ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ 13
- Тесленко А. Н. Бондарь Е.А.**
3D-ПРИНТЕРЫ. МНОГООБРАЗИЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ 16

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Болотина И.О., Седнев Д.А., Жвырбля В.Ю., Филиппов Г.А., Долматов Д.О.,
Портенко В.А.**
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИТЫХ
ИЗДЕЛИЙ 19
- Бутенко В.И., Демешкин А.С., Тарасов А.В.**
УСТОЙЧИВОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 110Г13Л 23

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Базров Б.М.**
ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ 29
- Горох Г.Г., Захлебаева А.И., Лозовенко А.А., Иджи М.М., Федосенко В.С.**
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ
ПОРИСТЫХ И КАРКАСНЫХ СТОЛБИКОВЫХ МАТРИЦ С НАНЕСЕННЫМИ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ПЛЕНКАМИ 32
- Кравченко В. С., Михайлов А.Н.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДО И
ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ 37

- Синельцев Ю.П., Мироненко Н.О.**
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ МАЛОРАЗМЕРНОЙ ВОЛНЫ
ВОДОЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПЬЕЗОЭЛЕК-
ТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ 40
- Чайкин И. В., Михайлов А. Н.**
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ 45
- Шайдунова Г.И., Васильев И.Л., Шевяков Я.С.**
ОСОБЕННОСТИ БИОДЕГРАДАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
ПОЛИМЕРОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ 48

ПРОЦЕССЫ РЕЗАНИЯ

- Горобец И.А., Игнатов А.Д.**
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ
ЗАГОТОВКИ ИЗ КАМНЯ 62
- Горобец И.А., Рудой Е.Р.**
ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КАМНЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗК 66
- Тюрин А.Н.**
ТЕХНОЛОГИЯ СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ КОНТАКТА
ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ 71

СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Рябичев В.Д., Витренко В.А.**
НЕКОТОРЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ 78
- Шеленберг Д.Я., Юровский В.В.**
УГОЛЬНЫЙ КУЗБАСС: АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ УГЛЕХИМИЧЕСКОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ 83

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

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

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

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

Размер Формул Для Microsoft Equation

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

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

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

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

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

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

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

(пустая строка)

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

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

(пустая строка)

1. Введение

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

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

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

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

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

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

Зам. председателя – Т.Г.Ивченко, тел. (+38 062) 301-08-05.

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