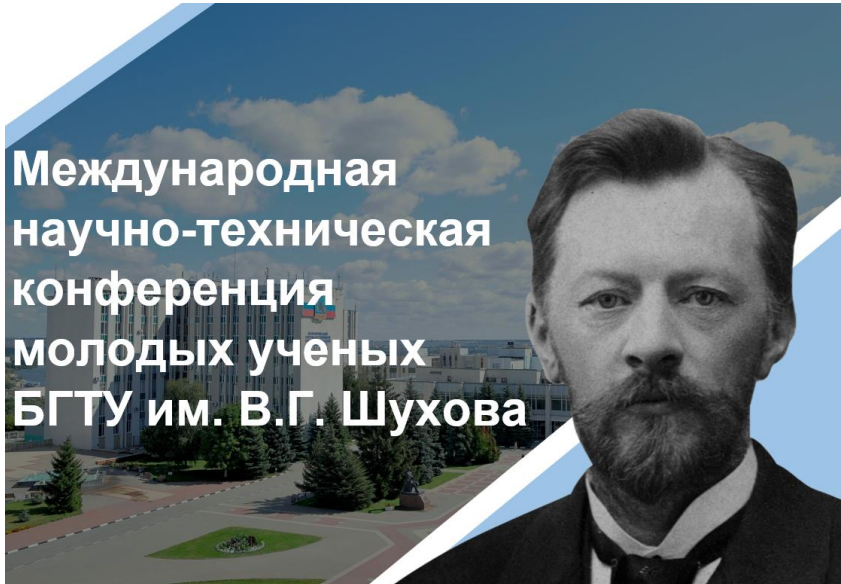


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение инноваторов  
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



**Международная  
научно-техническая  
конференция  
молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова**

**Сборник докладов**

**Часть 7**

**Высокоэффективные технологические процессы  
машиностроительных производств, технологическая  
робототехника**

**Белгород  
20-21 мая 2024 г.**

УДК 005.745  
ББК 72.5+74.48  
М 43

**Международная научно-техническая конференция  
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова  
[Электронный ресурс]:**  
М 43  
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 7. – 103 с.

ISBN 978-5-361-01330-2

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745  
ББК 72.5+74.48

**ISBN 978-5-361-01330-2**

©Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024

*Ветошкин Е.О., Козьмовский В.О*

*Научный руководитель: Чепчуров М.С. канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ВЫБОР ФРЕЗЕРНОГО МОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

В современном мире одним из наиболее важных секторов в экономике ряда стран является судостроение, в котором каждый год внедряются новые технические решения. В ходе строительства современных судов, формирование укрупненные секции корпусных конструкций с предварительно установленными в них фундаментами осуществляется с имеющим припуск на обработку, что позволяет устанавливать секции на палубы судна на плаву. В таком случае ставится задача выполнения механической обработки при установке оборудования в потолочном положении. Главной сложностью при выполнении работ в потолочном положении является раскрепление станочного оборудования. В таком положении происходит смещение суппорта по оси Y и приобретает ступенчатость обработанной поверхности, что не соответствует техническим требованиям конструкторской документации [2].

С целью правильного выбора мобильного обрабатывающего оборудования необходимо выполнить анализ при помощи построения геометрии, описывающей станок или часть станка. [3]

В современном мире существует масса различных программ выполняющие конечно-элементный анализ. В качестве инструмента компьютерного моделирования выбрана система КОМПАС – 3D и Altair Inspair. [1]

Актуальность применения конечно-элементного анализа при проектировании изделий заключается в проверке поведения изделий в рабочих условиях, определении предельно-допустимых режимов работы, а также выявление недостатков конструкции.

Построение 3-х мерной модели станка заключается в построении её тела с заданными геометрическими параметрами. Создадим модель станков PM-4200 и LM-6200 компании «Claimax», представленных на рис. 1 и рис. 2.

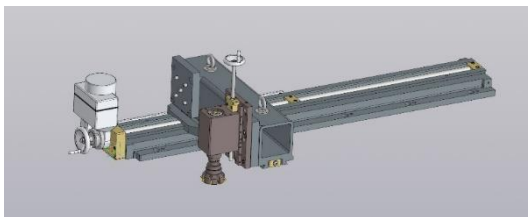


Рис. 1 - 3D модель станка PM-4200

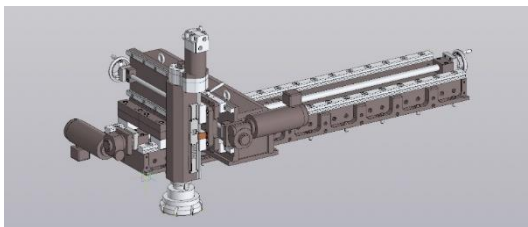


Рис. 2 - 3D модель станка LM-6200

Для объективного выполнения конечно-элементного анализа конструкцию станков PM-4200 и LM-6200 необходимо упростить, оставив только исследуемые узлы (рис.2 и рис.3), так как при нахождении станков в потолочном положении сила действующая на станину приводит к её прогибу.

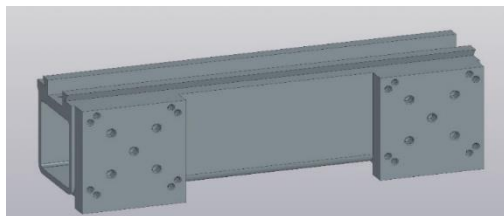


Рис. 3 – Упрощённый вид станка PM-4200

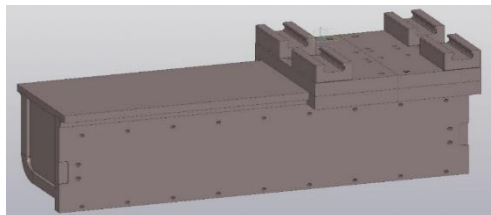


Рис. 4 – Упрощённый вид станка LM-6200

Для выполнения инженерного анализа конструкции проведем конечно-элементный анализ.

Необходимо выполнить упругое закрепление конструкции, затем приложить распределенную силу, которая действует на станину станка с усилием 500Н и происходит провисание каретки станка. Создадим тетраэдральную сетку и произведем расчет в системе КОМПАС – 3D (рис.5 и рис.6) в системе Altair Inspair (рис.7 и рис.8). Результатами расчетов являются узловые перемещения по суппорту станков РМ-4200 и LM-6200.

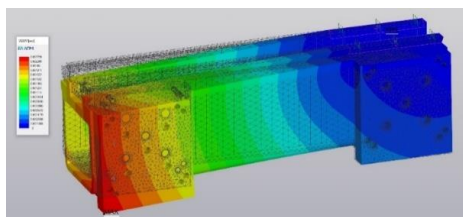


Рис. 5 – Результаты расчёта смещения конструкции станка РМ-4200 в системе КОМПАС – 3D

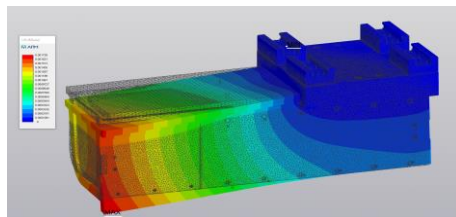


Рис. 6 – Результаты расчета смещения конструкции станка LM-6200 в системе КОМПАС – 3D

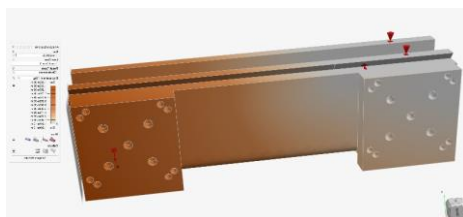


Рис. 7 – расчет смещения конструкции станка РМ-4200 в системе Altair Inspair

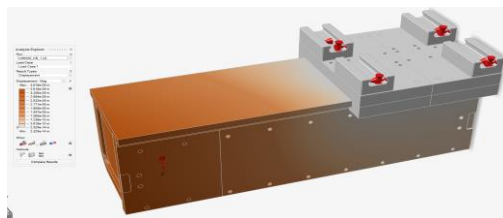


Рис. 8 – расчет смещения конструкции станка LM-6200 в системе Altair Inspair

Из представленных вариантов изменения конструкции видно, что назначенные нагрузки выдерживают оба варианта, однако меньшие узловые перемещения испытывает второй вариант. Перемещение сатины станка PM-4200 составило в системе КОМПАС – 3D = 0,01002, в системе Altair Inspair = 0,01253 мм, а у станка LM-6200 в системе КОМПАС – 3D = 0,00156, в системе Altair Inspair = 0,00253 мм.

Из полученных результатов видно, что нагрузки по характеру смещения идентичные, но итоговые результаты отличаются. Разницей полученного результата метода конечного элемента служит отличительный подход каждой программы к решению задач системы дифференциальных уравнений и механики твердого деформирования тела, построению тетраэдральной сетки конструкции. Поскольку расчёты смещений в Altair Inspair показали, большие значения, то следует руководствоваться ими.

В заключение анализа мобильного оборудования, следует отметить, что в настоящее время технологии механической обработки в судостроительной отрасли не стоят на месте. Используя систему Altair Inspair можно выполнить подготовку производства на высоком уровне, тем самым подобрать мобильное оборудование для обработки конструкций судна при нахождении его на плаву и обеспечить точность обработки требуемой конструкторской документацией.

Считаю необходимым ставить цели и задачи по внедрению системы автоматизированной подготовки на предприятиях машиностроительного производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы метода конечных элементов и инженерных приложениях [Текст]. С.В. Каменев, учебное пособие. 2019.
2. Desing process of executive elements in stroke mechanisms based on rammer's deformations and stress [Текст] Shepchurov M.S., Voronenko V.P., Chirkov A.V. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science

and Engineering. Buildintech bit 2020. Innovations and technologies in construction. 2020

3. Оценка состояния оборудования технологической системы на основе расчетов напряженно-деформированного состояния [Текст] Чепчуров М.С., Дуганов В.Я. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016.

4. К вопросу о контактном взаимодействии двух цилиндрических деталей технологического агрегата [Текст] Чепчуров М.С., Минасова В.Е., Маслова И.В. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018.

5. Выбор конструкции и материала ударника с использованием пакетов метода конечных элементов в инженерии [Текст] Чепчуров М.С., Жуков Е.М. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019.

**УДК 539.374.5**

**Гаврилов Р.В.**

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЛОВИН В СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВКАХ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Являясь универсальным изделием, трубы используются в самых разных сферах деятельности человека: в нефтегазовой отрасли, водоснабжении, отоплении и др.

Трубы также являются исходной заготовкой для тройников и коллекторов, которые также широко используются в нефтегазовой промышленности для распределения технологической жидкости, такой как нефть, газ и вода. Коллекторы предназначены либо для объединения нескольких соединений в один канал, либо для разделения одной входной линии на несколько выходов.

Чаще всего для их получения используют процесс отбортовки отверстий, при котором с помощью пластической деформации исходной заготовки образуют борт по контуру отверстия, полученного пробивкой или сверлением.[1] Этим способом получают горловины с небольшой относительной высотой.

Операцию отбортовки горловины на трубных заготовках применяют в кузнечном производстве при изготовлении различных типоразмеров тройников, а также отдельных элементов

химнефтеаппаратуры и котлов. Особенность процесса в том, что вырезаемое в трубной заготовке отверстие имеет, как показывают расчеты, овальную форму, что приводит к неравномерности деформации и соответственно к неравномерности толщины стенки на торцевой поверхности отбортованной горловины. Утонение и искривление стенки приводит к снижению надежности и долговечности соединений деталей с отбортованными отверстиями с другими изделиями.[2] С увеличением отношения диаметра отбортованной горловины к диаметру трубной заготовки  $d/D$  неравномерность деформации и неравномерность толщины стенки возрастают.[3] Кроме того, при отбортовке уменьшается толщина стенки в торцевой части горловины и при определенных условиях она может выходить за пределы допустимых значений. На величину утонения стенки при отбортовке влияет высота горловины  $h_r$  готового изделия. Для тройников этот размер определяется согласно техническим условиям и ГОСТам из выражения (Рис. 1):

$$h_r = H - D/2$$

где  $H$  – параметр, регламентируемый ГОСТ или ТУ;  $D$  – наружный диаметр корпуса тройника.

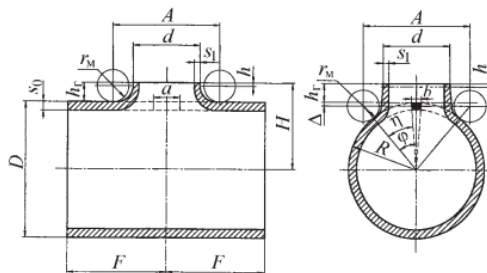


Рис. 1. Геометрические параметры отбортованной горловины переходного тройника

В условиях мелкосерийного производства тройники при определенных условиях можно изготавливать из трубных заготовок, применяя различные способы отбортовки горловины, в том числе многопереходную отбортовку с применением шаровых пуансонов.

Для успешного осуществления процесса отбортовки при изготовлении переходных тройников с отношением  $d/D > 0.6$  и получения требуемой толщины стенки  $s_1$  в торцевой зоне отбортованной горловины необходимо прежде всего определить и обосновать для конкретных типоразмеров тройников минимально необходимую высоту горловины  $h_r$  (Рис. 1). При определении



соответствующей высоты горловины  $h_r$  переходных тройников следует учитывать толщину стенки  $s_0$  исходной трубной заготовки и радиус  $r$  закругления у основания горловины (или радиус  $r_m$  закругления протяжной матрицы).

Таким образом одной из основных проблем при получении горловин является искривление отбортованной стенки и обеспечение равной толщины отбортованной стенки по всей высоте, что обеспечило бы лучшие механические свойства и долговечность соединения отбортованных изделий сваркой, с помощью резьбы и др.

Решение данной задачи может лежать в нескольких направлениях – автоматизации проектирования технологических процессов обработки заготовок, проектирование процесса получения горловин на основе морфологического анализа, а также компьютерное моделирование процесса вытяжки горловины для поиска оптимального соотношения параметров скорость-качество.

Рассмотрим способ изготовления тройников, который используют на одном из предприятий Белгородской области. Для этого используют специальную установку – пресс с усилием тяги 100 тс. (Рис.2)

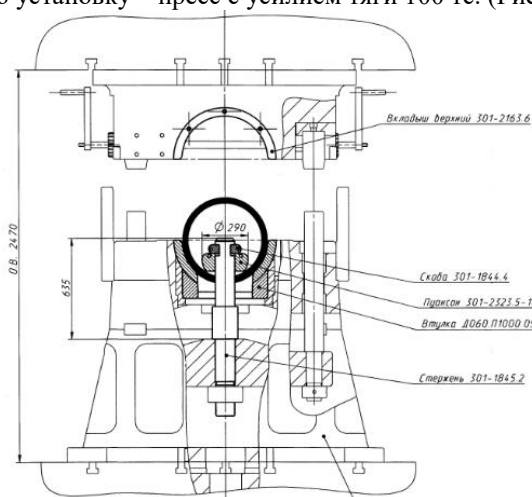


Рис. 2. Установка для вытяжки горловины.

В данную установку помещают заготовку с заранее вырезанным в ней овальным отверстием (Рис.4б). Заготовку обжимают верхним и нижним вкладышами и нагревают до  $1100^{\circ}\text{C}$ . Внутри заготовки размещают конусный пуансон, который жестко фиксируется с тяговым стержнем. Далее запускают в работу пресс, и происходит вытягивание горловины.

Данное предприятие имеет достаточно большой опыт в изготовлении тройников способом отбортовки, и в этой работе мы будем опираться на этот опыт в части выбора геометрических параметров заготовки для получения необходимых характеристик отбортованной горловины. Для получения горловины внутренним диаметром 290 мм и толщиной стенки не менее 18 мм используют трубную заготовку 530x32, сталь 20 (Рис. 3)

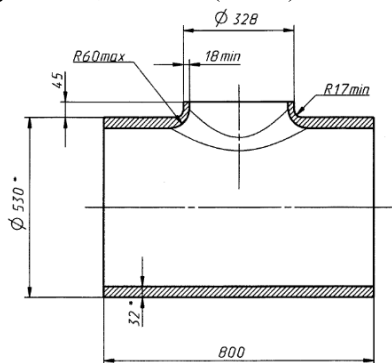


Рис. 3 Геометрические параметры тройника, получаемого после вытяжки.

Применяя математическое моделирование в программе QForm 10.2.4 попробуем виртуально повторить процесс вытяжки и определим параметры готового изделия.

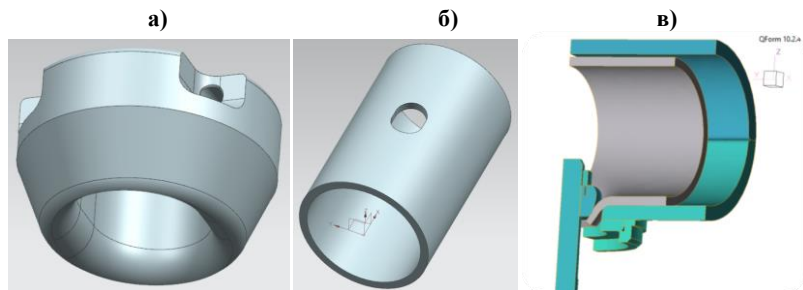


Рис. 4 3D модель: а – пуансон; б – трубная заготовка с овальным отверстием 124x162 мм.; в – расчетная модель

Для ускорения расчета зададим оси симметрии процесса и рассмотрим образование горловины на четверти модели (Рис.4в).

Задаем граничные условия моделирования – температуру и материал заготовки, материал пуансона, значение трения между

детальми, теплообмен между заготовкой и инструментом и др. После проведения расчета анализируем полученные данные.

Согласно исходному заданию минимальная толщина стенки горловины должна составлять 18 мм (Рис.3). После расчета в QForm минимальная толщина составляет 18,6 мм, и наблюдается в зоне с наибольшей интенсивностью напряжений (Рис.6), также схожи параметры температурных изменений в заготовке и кривизны торца отбортованной горловины.

Выводы:

1. Математическая модель подтверждает натурные опыты по производству тройников из трубных заготовок.

2. Для определения оптимальных характеристик процесса можно использовать данную математическую модель.

3. После нахождения оптимальных параметров процесса можно перенести эти параметры на натурные опыты и с большой долей вероятности получить те же результаты – как следствие оптимизация процесса получения тройников методом отбортовки отверстий.

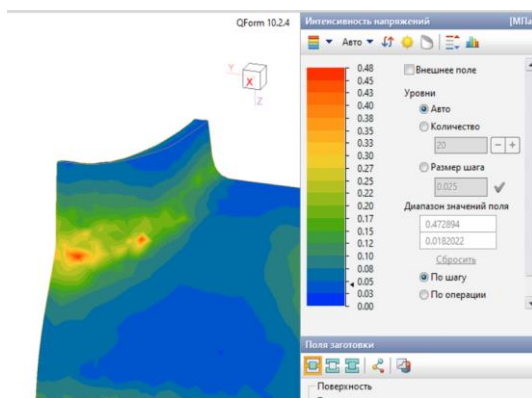


Рис. 6. Интенсивность напряжений в ходе вытяжки

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Круглов Е. П. Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения. Учебник для студентов машиностроительных специальностей / Е. П. Круглов, Э. Р. Галимов, А. Г. Аблясова, Н. Я. Галимов, С. Ю. Юрасов, М. М. Ганиев, А. Г. Схиртладзе, Е. А. Рябов – Казань: КНИТУ-КАИ, 2015 – 433с.

2. Калюжный В. Л. Исследование процесса отбортовки круглых отверстий профилированной листовой заготовки / В. Л. Калюжный, А.

В. Калюжный, С. А. Пахолко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – №5. – С. 22-25.

3. Лукьянов В. П. Отбортова горловины на трубных заготовках / В. П. Лукьянов, И. И. Маткава, В. А. Бойко, В. А. Елхов, Д. В. Доценко, А. Г. Безкорвайнов // *Заготовительное производство в машиностроении*. – 2009. – №4. – С. 17-22.

4. Юракова Т. Г. Актуальные вопросы обеспечения качества стали как основного материала для производства продукции машиностроения / Т. Г. Юракова, Е. С. Черноситова, К. М. Левицкая // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. – 2017. – №6. – С. 207-212.

5. Попов Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки: учеб. для вузов / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. – Москва: МГТУ, 2000. – 479 с.

*УДК 621.9.025*

*Горохов П.С., Мотёркин А.В., Воронков И.Е.*

*Научный руководитель: Блинова Т.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **МИНЕРАЛОКЕРАМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Процессы резания в машиностроительном производстве часто связаны с использованием различных режущих инструментов, которые на относительно небольшой площади контакта с заготовкой испытывают воздействия сил трения и высоких давлений. При этом происходит интенсивный износ контактных поверхностей инструмента из-за большого количества тепла, которое сопровождает процесс резания. В связи с этим к режущим материалам предъявляют дополнительные требования по твердости, теплопроводности, прочности, технологичности. Поэтому на производстве происходит постоянный поиск новых материалов с уникальными свойствами, способными улучшить характеристики режущего инструмента и его эффективность при использовании. Одним из таких материалов, который привлекает внимание инженеров и специалистов, является минералокерамика. Её уникальные свойства делают этот материал незаменимым.

Применение минералокерамических материалов в машиностроении может обеспечить следующие преимущества: износостойкость, теплостойкость и высокую термическую стабильность, коррозионную стойкость, легкость и малый вес, точность

и долговечность. Но нельзя не учитывать и ряд недостатков металлокерамики, например, низкую прочность на изгиб и высокую хрупкость [1, 2].

Совершенствование процессов резания сопровождается постоянным изучением и сравнением различных свойств минералоокерамических режущих материалов со свойствами других материалов (Табл. 1).

Таблица 1 – Свойства материалов

Материалы	Твердость, HRA	Прочность, МПа	Теплостойкость, °C
Твердые сплавы BK3, BK6, BK8, TT7K12	87...92	1100...1650	750...850
Минералокерамика B-3, BOK-63	93...94	950...980	1200...1400

Представленные данные подтверждают вышесказанное о минералокерамике и указывают на то, что данные материалы при трении, скольжении и истирании более износостойкие, чем марки твердых сплавов.

Большое внимание, при анализе процесса обработки изделий, уделяется рабочим диапазонам скоростей резания инструментов. Так значение данного фактора для инструмента из быстрорежущей стали доходит до 60 м/мин. Износостойкие твердые сплавы могут применяться в диапазоне 150–230 м/мин. Ещё более высокие скорости резания можно использовать для керамических режущих материалов. При чрезмерном повышении скорости резания температура, например, резца возрастает, что влечет за собой пластическую деформацию данного инструмента из быстрорежущих и твердых сплавов. Твердость минералоокерамических режущих материалов в нагретом состоянии вследствие большого количества высокотемпературных составных частей, настолько высока, что предельная температура резца не может быть достигнута, и, следовательно, не могут произойти пластические деформации.

Исследования показали, что минералоокерамическими материалами можно работать при средних и больших подачах, как и при использовании твердых сплавов.

Обработка стальных поверхностей с прочностью  $\sigma_B = 83 \text{ кГ/мм}^2$  керамическим резцом проводилась при скоростях 200 и 300 м/мин, а твердосплавным инструментом при скоростях резания 100, 200 и 300 м/мин (Рис. 1).

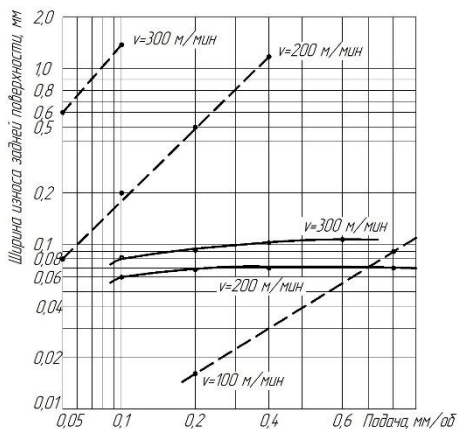


Рис. 1. Износ задней поверхности в зависимости от подачи у резцов с пластинами из оксидно-карбидной керамики и твердого сплава при разных скоростях резания:

—●—●— — твердый сплав, ●—●—●— — минералокерамика

По данным рисунка можно сделать выводы о влиянии величины подачи на стойкость керамических режущих пластин и на стойкость твердосплавного резца. При указанных режимах резания износ задней поверхности керамического резца возрастает, но увеличение подачи лишь ненамного увеличивает износ, т.е. износ задней поверхности инструмента с керамической режущей частью практически не зависит от подачи. Например, износ не изменился при изменении подачи от 0,2 мм/об к 0,4 мм/об и затем 0,6 мм/об при скорости резания 200 м/мин. Ниже показаны возможные пределы подач для режущего инструмента из оксидно-карбидной керамики при обработке стали с двумя различными скоростями резания (Рис. 2). Прочность обрабатываемого материала составляет  $\sigma_B = 80 \text{ кг/мм}^2$ .

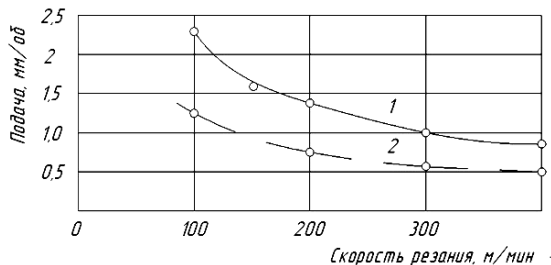


Рис. 2. Предельные подачи в зависимости от скорости резания стали резцами, имеющими оксидно-карбидную пластину:

1 – поломка режущей пластины; 2 – стойкость  $T = 15$  мин.

При обработке стали и чугуна резцами из оксидно-карбидной керамики могут быть применены следующие рекомендуемые подачи (Табл. 2):

Таблица 2 – Рекомендуемые подача и скорость резания

Подача, мм/об	0,5-1	0,3-0,6	0,2-0,4	0,1-0,2
Скорость резания, м/мин	200	300	400	500-700

При обработке резцами из оксидной керамики можно применять следующие подачи (Табл. 3):

Таблица 3 – Рекомендуемые подача и скорость резания

Подача, мм/об	0,4-0,5	0,3-0,5	0,2-0,3	До 0,2
Скорость резания, м/мин	200	300	400	500-700

Глубина резания также оказывает влияние на износ и тем самым на стойкость керамического резца. Слишком малые и большие глубины резания значительно влияют на износ и снижают стойкость. Наиболее благоприятная глубина резания для оксидно-карбидной керамики является 2 мм, а глубину резания больше 8 мм по возможности лучше избегать, так как часто происходят поломки пластинок режущего инструмента.

Представленные кривые характеризуют влияние глубины резания на изменение стойкости (Рис. 3). Обработываемый материал имеет прочность  $\sigma_B = 83 \text{ кг/мм}^2$  [3].

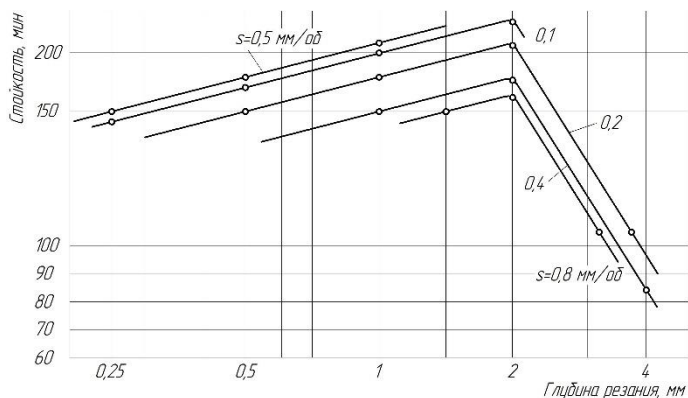


Рис. 3. Стойкость реза из оксидно-карбидной керамики в зависимости от глубины резания при разной подаче

Режущие свойства минералокерамических материалов превосходят твердосплавные материалы, но перед принятием решения об использовании режущего инструмента с керамической режущей частью, следует проанализировать форму обрабатываемого изделия и существующее оборудование. В процессе обработки очень длинные и очень тонкие изделия легко подвергаются колебаниям. Поэтому их лучше обрабатывать твердосплавными инструментами. Несмотря на ряд недостатков, керамические материалы могут быть рекомендованы для чистовой и получистовой обработки заготовок из закаленных сталей и чугунов.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Зозулева, Л. А. Режущий инструмент: конспект лекций / Л. А. Зозулева, М. Н. Воронкова. – Белгород: Изд-во БГТУ: БИЭИ, 2007. – 332с.
2. Режущий инструмент: учебник для вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов [и др.]; под ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
3. Агте К. Минералокерамические режущие материалы. Производство, свойства и применение / К. Агте, Р. Колерманн, Э. Хеймел; пер. с нем. А.М. Ладогина. – М: Машгиз, 1962. – 192с.

*УДК 681.51*

*Захаров В.В.*

*Научный руководитель: Чепчуров М.С., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ALTAIR INSPIRE**

Altair Inspire является инновационной технологией, позволяющей пользователю в короткие сроки создавать оптимальные концепции конструкции самых различных изделий и оценивать эффективность их структуры.

Использование возможностей программы позволяет выполнять технологическую оптимизации, соответственно разрабатывать



оптимальные с точки зрения прочности и веса конструкции и структуры в кратчайшие сроки.

Компания Altair Engineering была основана в 1985 году в городе Трой, США. С момента основания компании Джейм Скапа был её генеральным директором (а теперь и председателем). Изначально компания начинала как инженерно-консалтинговая фирма, но затем расширилась до разработки продуктов и программного обеспечения для автоматизированного проектирования (CAE). В 1990-х годах компания стала известна благодаря своим программным продуктам, таким как HyperWorks, OptiStruct и HyperMesh, которые часто использовались для разработки продуктов в автомобильной промышленности. В настоящее время Altair представляет собой динамично развивающуюся высокотехнологичную компанию - одного из лидеров рынка CAE систем. Официальным дистрибьютором Altair на территории России является ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab), занимающаяся продажей программных продуктов, поддержкой пользователей, консалтингом и обучением.

Altair Inspire - программная система топологической и топографической оптимизации, позволяющей быстро создавать эффективный, оптимальный с точки зрения массы, жесткости и прочности дизайн самых различных структур и конструкций. Inspire позволяет сократить время цикла разработки продукта и ее трудоемкость, повысить эффективность и ускорить процесс проектирования, повысить точность инженерных и конструкторских решений. Уже на стадии разработки концепции дизайна можно уменьшить вес конструкции на 15-20%, а также оценить ее жесткость и прочность.

Altair Inspire использует технологические решения топ-класса от компании Altair Engineering, Inc., в частности, технологию оптимизации OptiStruct, позволяющую разрабатывать оптимальные с точки зрения прочности и веса конструкции и структуры в кратчайшие сроки.

Основные возможности Altair Inspire включают:

- Оптимизацию конструкции по критерию минимизации массы;
- Оптимизацию конструкции по критерию максимальной жесткости;
- Оптимизацию с учётом желаемого спектра собственных частот колебаний;
- Учет геометрических ограничений и граничных условий;
- Учет зон контакта, а также болтов и шпилек.

Основные преимущества Altair Inspire:

- Возможность применения в широком спектре отраслей

промышленности;

- Автоматическое, скрытое от глаз конструктора построение качественной КЭ сетки;

- Приложение граничных условий и нагрузок в один «клик»;

- Оптимизация по критериям максимальной жесткости и минимальной массы с учетом спектра собственных частот конструкции;

- Возможность экспорта полученной конфигурации в любые коммерческие САД-системы.

- Altair Inspire позволяет адаптировать оптимизированное изделие для 3D печати: возможность легкой и быстрой конвертации дизайна изделия в формат, удобный для передачи непосредственно на 3D принтеры.

Построим исходную деталь – втулка в Компас 3D (Рис.1) для возможности проведения дальнейшей топологической оптимизации.

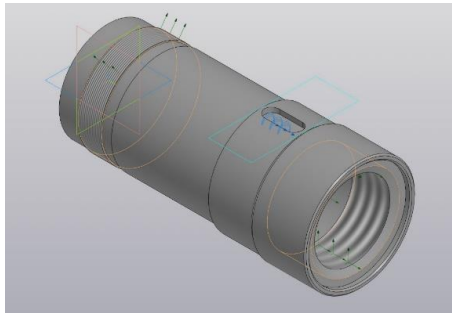


Рис. 1 – 3D модель втулки.

В соответствии с конструкцией, деталь втулка может принять нагрузку в области шпоночного паза, распределённая сила в которой направлена на прилегающую поверхность. Шпонкой фиксируется шестерня и предотвращает её вращение вокруг оси вала, этим обеспечивается передача крутящего момента. Материал детали примем сталь 40Х.

Выполним конечно-элементный анализ конструкции втулки по допустимым деформациям и перемещениям в программе Компас 3D с использованием дополнительного модуля «АРМ FEM».

Используем закрепления детали в области резьбы: наружной и внутренней, зададим распределенный момент 500 Н·м в области шпоночного паза (рис. 2). Сгенерируем сетку конечных элементов на детали и проведём расчёт нагрузки, напряжений и перемещений, подвергаемых к конструкции детали (рис. 3).

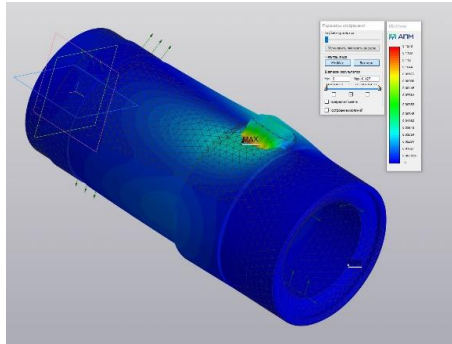


Рис. 2 – модель втулки с приложенной нагрузкой в Компас 3D.

По результатам расчёта с использованием Компас 3D в области шпоночного паза детали получим следующие значения: максимальная нагрузка 1200 Н, максимальное напряжение 1300 МПа, максимальное смещение 0,01 мм.

Выполним конечно-элементный анализ конструкции втулки по допустимым деформациям и перемещениям, используя программное обеспечение Altair Inspire. Идентично первому варианту будем использовать закрепления детали в области резьбы, зададим распределенный момент нагрузки 500 Н·м в области шпоночного паза. Сгенерируем сетку конечных элементов на детали и проведём расчёт нагрузки подвергаемых к конструкции детали (рис. 3).

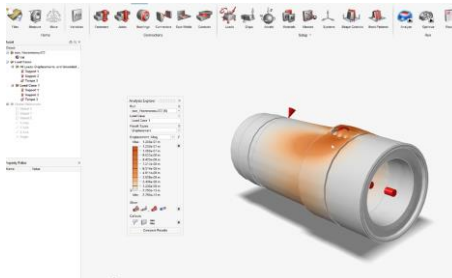


Рис. 3 – модель втулки с приложенной нагрузкой в Altair Inspire.

По результатам проведённой работы с использованием Altair Inspire отметим, что максимальное смещение конструкции детали составляет 0,02 мм.

Сопоставив полученные значения напряжений и смещений в Altair

Inspire с Компас 3D, видим, что они отличаются примерно от 5 до 10 %. Разница обусловлена в различных подходах к системе реализации топологической оптимизации, также программы позволяют моделировать разные нагрузки. В программе Altair Inspire имеется функция анимации деформации детали при приложении нагрузки, для возможности визуальной оценки. Минусом программы является отсутствие русификации, но поскольку интерфейс разработан интуитивно понятно, то с освоением всех функций программного обеспечения не потребуется значительного количества времени. Большим плюсом Altair Inspire в сравнении с Компас 3D является быстрая загрузка при работе с использованием топологической оптимизации.

Altair Inspire позволяет сократить время цикла разработки детали и её трудоемкость, повысить эффективность и ускорить процесс проектирования, повысить точность инженерных и конструкторских решений. Программное обеспечение пользуется популярностью у большого количества разработчиков всемирно известных компаний по производству продукции в таких отраслях, как машиностроение, автомобилестроение и авиация, нефтегазовая, а также оборонная промышленности.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Design process of executive elements in stroke mechanisms based on rammer's deformations and stress modeling Чепчуров М.С., Voronenko V.P., Chirkov A.V. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Buildintech bit 2020. Innovations and technologies in construction. 2020.

2. Оценка состояния оборудования технологической системы на основе расчетов напряженно-деформированного состояния Чепчуров М.С., Дуганов В.Я. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016.

3. К вопросу о контактном взаимодействии двух цилиндрических деталей технологического агрегата Чепчуров М.С., Минасова В.Е., Маслова И.В. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018.

4. Выбор конструкции и материала ударника с использованием пакетов метода конечных элементов в инженерии Чепчуров М.С., Жуков Е.М. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019.

УДК 621.92

*Зотов Р.Д.*

*Научный руководитель: Дуганов В.Я., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## УМЕНЬШЕНИЕ ЗАТРАТ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

В современном машиностроении детали из нержавеющей стали используются все чаще. Для того чтобы получить повышенную шероховатость на плоских деталях из нержавеющей стали, приходится прибегать к слесарно-лекальным работам. Этот процесс очень трудоёмкий и требует опыта специалистов. Основная проблема заключается в том, что детали из нержавеющей стали невозможно установить на стол плоскошлифовальных станков, так как данные стали не имеют магнитных свойств. Поэтому изучение способов шлифования нержавеющей сталей, всегда была актуальной проблемой, решение которой, могло бы принести большой экономический эффект при изготовлении деталей, особенно в крупносерийном производстве.

Рассмотрим принцип действия вакуумного стола:

Принцип работы вакуумной оснастки основан на создании области перепада давления, на границе которой и установлена заготовка. При этом на нее действует прижимающее усилие, создаваемое атмосферным давлением, что при нормальных условиях равно 760 мм рт. ст., и составляет около 1 кгс/см<sup>2</sup>. То есть, на деталь размером 200х200 мм будет действовать усилие прижима, равное 400 кгс! И это усилие будет возрастать пропорционально площади закрепления.[2]

Усилие, которое необходимо для зажима детали, можно найти по закону Амонтона-Кулона с.47 [1].

Заготовка базируется на установочной плите и прижимается к ней силой  $Q$ , а сила резания  $P$  действует перпендикулярно к заготовке и стремится сдвинуть заготовку с установочной плиты. Силу резания уравновешивает сила трения  $F_{тр}$ , создаваемая силой  $Q$ . По закону Амонтона-Кулона, сила трения прямо пропорциональна силе нормального давления:

$$F_{тр} = f * Q, (1)$$

где  $f$  – коэффициент трения между заготовкой и оснасткой (т.е. вакуумной плитой);

$Q$  – сила.

Учитывая коэффициент запаса контактирующих поверхностей, получим следующее условие равенства:

$$k * P = Q * f (2)$$

Выразим силу:

$$Q = \frac{k*P}{f} (3)$$

Согласно гарантированный коэффициент запаса  $k$  рекомендуется принимать во всех случаях равным 1,5.[3]

Значение  $f = 0,1$  – для поверхностей заготовок контактирующих с плоскостью опорных элементов (пластин, магнитной плиты, и т.п.) или плоскостью контактных элементов зажимных устройств [3].

Величину  $P$  находим по формуле [3]:

$$P = C_p * V^{0,7} * S^{0,7} * t^{0,6} (4)$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от свойств материала шлифуемой детали, равный: 2,2 для нержавеющей сталей [3];

$V$  – скорость резания;

$S$  – подача;

$t$  – глубины резания.

$$P = 2,2 * 21^{0,7} * 300^{0,7} * 0,02^{0,6} = 13,18 \text{ кгс.}$$

Исходя из расчётов усилие в 400 кгс, действующее на заготовку 200x200 мм, с легкостью обеспечить закрепление на вакуумной плите.

Создание вакуума производится вакуумными насосами различных мощностей, в зависимости от типа и размера стола. Некоторые типы насосов позволяют работать в условиях обильной подачи СОЖ в зону обработки.

Одним из главных преимуществ вакуумного закрепления является равномерное распределение усилия зажима по всей площади заготовки, что позволяет избежать вибраций во время механической обработки.[2]

Современные шлифовальные станки с ЧПУ оснащены компрессорной установкой, соответственно подключить данные вакуумные плиты можно через переходной тройник напрямую к ресиверу. Как и было выполнено в одном из цехов предприятия по моей инициативе на шлифовальном станке Numaffut SMP.

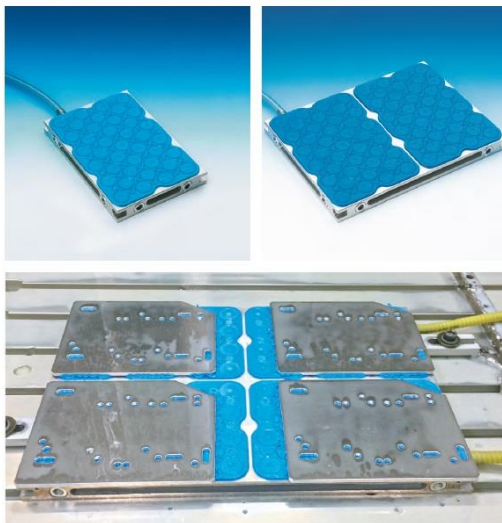


Рис. 1 Набор вакуумных плит и установка заготовок на нем.

Рабочие поверхности данных плит составляют 200\*300 мм, но для увеличения рабочей зоны можно подключать между собой 2, 4 и даже 8 плит. Вся конструкция будет работать от подвода вакуума только к одной плите. Но для использования данной конструкции необходим комплект полимерных ковриков, на которые устанавливаются обрабатываемые детали. На нижней части коврика находится сетка каналов, по ней вакуум подается к каждому всасывающему отверстию, и шесть выступов, которые предназначены для базирования коврика на вакуумном столе. Существуют четыре вида ковриков, которые отличаются помимо цены, точностью обработки деталей. Наибольшая точность 0,06 мм на 100 мм плоскости.

Таким образом, имея шлифовальный станок, работающий от компрессорной установки, можно существенно уменьшить затраты стоимости и времени на изготовление плоских деталей из нержавеющей стали.

Так же кроме нержавеющей сталей, при помощи вакуумных плит можно обрабатывать титан, керамику и стекло.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иродов И.Е. // Механика. Основные законы. БИНОМ – 2014г.

2. Корсаков В.С. // Основы конструирования приспособлений. Машиностроение – 1983г.
3. PTC VECTOR. CNC & CMN tools. - 2023г. 112 с.

**УДК 621.98**

***Зотов Р.Д.***

***Научный руководитель: Чепчуров М.С., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ В БАЛТ-СИСТЕМ**

Для обработки пазов и отверстий в листовом прокате целесообразно использование программной обработки, особенно в многосерийном производстве. В качестве примера программы целесообразно использовать БАЛТ-СИСТЕМ, так как данный разработчик и производитель устройств числового программного управления (УЧПУ) зарегистрирован и работает на территории Российской Федерации.[3]

В данной стойке можно последовательно обрабатывать сначала пазы и отверстия, а в дальнейшем и внешний контур деталей. Для этого необходимо разработать и разбить программу на две подпрограммы, условно CUT2 и CUT 3. [1]

Примем, что на заготовке листового проката необходимо получить тридцать деталей.

CUT2 – обработка пазов и отверстий:



```

G0X-100Y100Z20
G90T1.1M6F20
(UCG,2,X-100 X750,Y-100 Y1025)
;(UCG,2,X-100 X750,Y-100 Y1025)
G0X0Y0
E30=0
;''h<f->
(RPT,5)
;''hTbE
(RPT,6)
(RPT,4)
(URT,E27)
GLX-8Y40
GLZ
GLY70
G2X8I170
GLY40
G2X-8I140
GLZ50
(URT,0)
E27=E27+90
(MIR,X)
(ERP)
GLXY14
GLZ
G3XY14I1
GLZ50
E31=E31+1
(UIO,Y175)
(ERP)
E30=E30+1
(BEQ,E30,1,CONT1)
(BEQ,E30,2,CONT2)
(BEQ,E30,3,CONT3)
(BEQ,E30,4,CONT4)
"CONT"
(ERP)
(BNC,END)
"CONT1"
(UOT,0,X125,Y50)
(BNC,CONT)
"CONT2"
(UOT,0,X250,Y00)
(BNC,CONT)
"CONT3"
(UOT,0,X375,Y50)
(BNC,CONT)
"CONT4"
(UOT,0,X500,Y0)
(BNC,CONT)
"CONT5"
(UOT,0,X625,Y50)
(BNC,CONT)
"END"
(CLS,CUT3/MP3)

```

Рис. 1 Код программы CUT2 для обработки отверстий и паза.

В итоге обработки мы получаем данный результат:

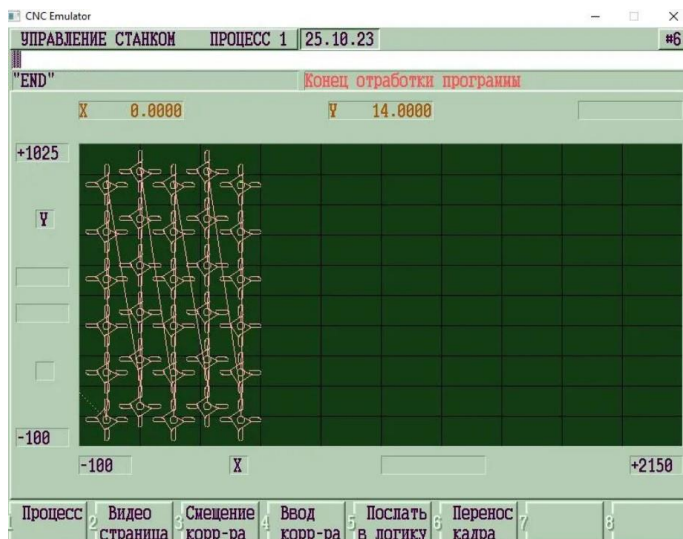


Рис. 2 Результат обработки эмулятора отверстий и пазов.

Благодаря возможности повторять цикл обработки, необходимо указать координаты только для одной детали, программа автоматически перестраивается в заданные координаты и повторяет команды для всех тридцати деталей. Всего лишь одна строчка – (CLS,CUT3/MP3), является выводом подпрограммы обработки наружного контура всех тридцати деталей.

CUT3 – обработка наружного контура деталей:

```

G0X-100Y100Z20
(UOT,0,X0,Y0)
G0XY
E30=0
E27=0
; 'h<f->
(RPT,5)
; 'hъьE
(RPT,6)
(RPT,4)
(URT,E27)
G1Z
G0X-14Y14
G1Y70
G2X14Y70IJ70
G1Y14
G1Z50
(URT,0)
E27=E27+90
(MIR,X)
(ERP)
(UIO,Y175)
(ERP)
E30=E30+1
(BEQ,E30,1,CONT1)
(BEQ,E30,2,CONT2)
(BEQ,E30,3,CONT3)
(BEQ,E30,4,CONT4)
"CONT"
(ERP)
(BNC,END)
"CONT1"
(UOT,0,X125,Y50)
(BNC,CONT)
"CONT2"
(UOT,0,X250,Y00)
(BNC,CONT)
"CONT3"
(UOT,0,X375,Y50)
(BNC,CONT)
"CONT4"
(UOT,0,X500,Y0)
(BNC,CONT)
"CONT5"
(UOT,0,X625,Y50)
(BNC,CONT)
"END"

```

Рис. 3 Код программы CUT3 для обработки наружного контура.

Результат обработки:

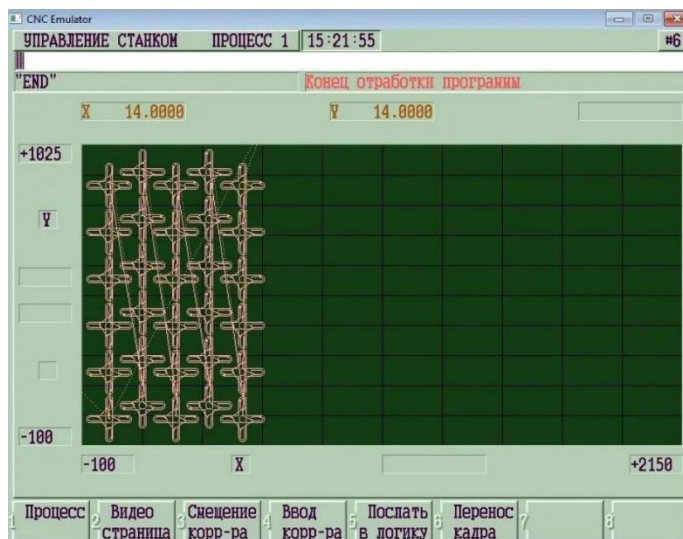


Рис. 4 Результат обработки эмулятора наружного контура.

Как и ранее было описано в подпрограмме CUT 2, программа автоматически перестраивается в заданные координаты, и повторяет команды для обработки наружного контура тридцати деталей.

Учитывая, что в программе допускается не более трех циклов, необходимо разделить данную программу на две подпрограммы по три цикла каждая.

Таким образом, благодаря внешним программам оператору можно выполнять обработку сразу нескольких контуров на больших партиях деталей. Это существенно экономит время на переналадку оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.С. Чепчуров, А.Н. Феофанов // Управление специальным станочным модулем при восстановительной обработке поверхностей крупногабаритных деталей – 2012 – № 11 – С. 03-06
2. БАЛТ-СИСТЕМ // Руководство по оконному интерфейсу УЧПУ - 2014г.
3. БАЛТ-СИСТЕМ // Руководство по характеристике УЧПУ - 2014г.

4. М.С. Чепчуров // Модернизация управления приводом фрезерного станка с ЧПУ при использовании ПК – 2008 – № 7 – С. 13-15.

*УДК 620.179.18*

*Иванов В.С.*

*Научный руководитель: Старостин А.В., канд. техн. наук, доц.  
Вологодский государственный университет  
г. Вологда, Россия*

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА**

Ультразвуковой контроль — это широко используемый метод неразрушающего контроля, который играет решающую роль в многих направлениях промышленности, относящихся к нефтяным и газовым предприятиям, строительным компаниям. При ультразвуковом контроле ключевыми приборами являются ультразвуковые преобразователи и дефектоскопы.

Принцип ультразвукового воздействия относится к неразрушающему [4], потому что широкое его применение в промышленности обосновано возможностью сохранения объекта контроля. В процессе проверки исследуемого материала или его поверхности, обнаружения дефектов, через объект пропускаются высокочастотные волны. При неразрушающем контроле ультразвуковые волны используются с частотами, соответствующими 0,1 - 15 МГц. В ультразвуковом измерении толщины, например, зачастую используется ультразвук. Контроль толщины объектов применяется для мониторинга показателей долговечности и наличия коррозии стенок трубопровода [1,3].

Ультразвуковой контроль обнаруживает неоднородности материала с помощью высокочастотных звуковых волн, распространяющихся через материал. Когда волны сталкиваются с материалом с другим акустическим сопротивлением, некоторые волны отражаются обратно. Передающее устройство обнаруживает этот отраженный звук и отображает его на экране в качестве индикации. Зная скорость распространения звука через материал и время прохождения, техник неразрушающего контроля может рассчитать расстояние до указанного материала с изменением акустического импеданса [5].

Для проведения ультразвукового контроля необходимо ввести

звуковые волны в объект через пьезоэлектрический преобразователь. Роль этого излучателя заключается в преобразовании электрического тока в звуковые волны. Двумя наиболее распространенными типами звуковых волн, используемых в этом процессе, являются волны сжатия, также известные как продольные или прямые лучевые волны, и поперечные волны, также известные как поперечные или угловые лучевые волны.

Одним из таких примеров является ультразвуковое измерение толщины, которое используется для определения толщины объекта, например, при оценке коррозии трубопроводов. Регулярно используя принцип ультразвукового контроля для проверки на наличие дефектов или роста коррозии, можно избежать потенциальных проблем. Раннее обнаружение повреждений может предотвратить выход из строя деталей, компонентов или целых конструкций машины.

Ультразвуковой контроль представляет собой процесс, который представляет из себя передачу волн в объект исследования, отражение звуковых волн от стенок и иных исследуемых поверхностей. В данной процедуре ультразвуковые волны пропускаются через оцениваемый объект, а затем отражаются в приемник. Затем принятый сигнал обрабатывается приемником, создавая представление материала в виде трехмерной модели, позволяя обнаружить дефекты исследуемого объекта. Существует два способа приема ультразвукового сигнала, представляющие из себя два типа ультразвукового контроля: метод отражения и затухания.

В методе с использованием отражения ультразвуковых волн преобразователь используется как излучатель и как приемник. Отраженный ультразвук генерируется на границах раздела, а именно в местах дефектов, в скрытых полостях или на задних стенках исследуемого объекта. При приеме сигнала диагностический аппарат отражает приходящие сигналы. Эти данные представляются в виде сигнала, где его амплитуда - сила отражения, а расстояние - время прибытия отражения.

В методе с применением затухания передатчик передает ультразвук через одну поверхность, а отдельный приемник измеряет количество звука, достигающего другой поверхности после прохождения через среду. Дефекты или другие особенности исследуемых поверхностей в зоне между передатчиком и приемником приводят к уменьшению передачи силы звука, что говорит о их наличии. Использование в данном методе проводящей связующей среды повышает эффективность процесса исследования за счет

понижения силы энергии ультразвуковых волн, проходя через среду раздела поверхностей.

Ультразвуковой контроль предлагает многочисленные преимущества в производственной среде, к которым относятся:

1) Ультразвук можно использовать для создания изображений с использованием автоматизированных систем, поскольку он очень портативен.

2) Ультразвук обладает превосходной чувствительностью, что позволяет обнаруживать даже малейшие дефекты.

3) Он чувствителен как к поверхностной, так и к подземной непрерывности.

4) При использовании метода «импульс-эхо» необходим только односторонний доступ.

5) Ультразвук не представляет угрозы для людей, находящихся рядом с испытательным центром, и не влияет на близлежащее оборудование или материалы.

6) Ультразвуковой контроль можно использовать для дефектоскопии и измерения толщины.

7) Глубина проникновения ультразвукового контроля превосходит другие подходы неразрушающего контроля для обнаружения и количественной оценки дефектов.

8) Ультразвуковое исследование требует минимальной подготовки.

9) Результаты немедленные, что позволяет провести оценку на месте.

10) С его помощью можно оценить структуру сплавов, содержащих компоненты с различными акустическими характеристиками.

11) Возможность применения контроля на всех этапах производства, а также при входном контроле [2].

Хотя ультразвуковой контроль имеет ряд преимуществ, он также имеет и ряд недостатков. Среди которых можно выделить:

1) Проверка небольших, грубых, очень тонких материалов и материалов неправильной формы затруднена.

2) Ультразвуковой контроль чугуна и других грубых материалов сложно проводить из-за ограниченной передачи звука и значительного шума сигнала.

3) Ультразвуковой контроль может не обнаружить линейные дефекты, ориентированные параллельно звуковому лучу, что требует большей подготовки и компетентности, чем другие неразрушающие процедуры.

4) Для улучшения прохождения звуковой энергии в испытуемый образец часто требуется применение связующей среды.

5) Ультразвуковой контроль относительно дороже, чем другие методы неразрушающего контроля.

Принцип ультразвукового контроля — это мощный и широко распространенный метод неразрушающего контроля, который дает ценную информацию о внутренней структуре материалов.

Оборудование УЗ с его дефектоскопом и датчиками играет центральную роль в этом процессе, обеспечивая точные и надежные проверки.

Следуя четко определенной процедуре, профессионалы могут обнаружить дефекты и обеспечить целостность критически важных компонентов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулева, Н. И. Место квалитологии в системе менеджмента качества машиностроительных предприятий / Н. И. Кулева, А. С. Степанов, А. В. Старостин // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3(13). – С. 59-62. – EDN OOAАKF.

2. Разработка предложений по повышению качества и организации входного контроля / М. А. Удальцов, А. В. Старостин, Н. И. Кулева [и др.] // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций : сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 20–21 октября 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 284-286. – EDN UKVMQO.

3. Сигов, А. Н. Квалиметрические показатели долговечности и износа деталей машин / А. Н. Сигов, А. В. Старостин, Н. И. Кулева // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2022. – № 4(18). – С. 68-70. – EDN RPQQOY.

4. Степанов, А. С. Управление качеством : учебно-методическое пособие / А. С. Степанов, А. В. Старостин, Н. И. Кулева. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – 59 с. – EDN ODKNDY.

5. Цифровые технологии машиностроения / В. П. Белоусова, Д. А. Богданов, В. Ф. Булавин [и др.]. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2021. – 184 с. – ISBN 978-5-87851-971-7. – EDN XBYRCZ.



**УДК 625.089.1**

**Иванова А.И.**

**Научный руководитель: Косухин М.М., канд. техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ**

За последние десятилетия автоматизация в отделочных работах значительно преобразилась, что отражает общую тенденцию к цифровизации и механизации в строительной сфере. Современные технологии упростили и ускорили многие процессы, которые раньше выполнялись вручную. Одно из наиболее заметных направлений – это использование высокотехнологичного оборудования, такого как электрические краскопульты, автоматические штукатурные станции и лазерные уровни, повышающие эффективность и качество работы.

Цифровизация отделочных работ становится всё более распространённой благодаря внедрению специализированных программных решений, которые помогают точно планировать работу и сокращать количество отходов. Роботизация также играет важную роль, предоставляя возможности для автоматизации задач, например, покраска или штукатурка стен, что может существенно изменить отрасль в ближайшем будущем [1].

Автоматизация в отделочных работах предполагает использование различных механизированных инструментов, каждый из которых предназначен для определённых задач:

– электрические краскопульты (Рис. 1) – упрощают и ускоряют процесс окрашивания стен и потолков, обеспечивая равномерное нанесение краски;



Рис. 1. Электрический краскопульт

– штукатурные станции (Рис. 2) — автоматизируют процесс нанесения штукатурки, значительно увеличивая скорость работы и обеспечивая ровное покрытие;



Рис. 2. Штукатурная станция

– лазерные уровни (Рис. 3) – обеспечивают высокую точность при выравнивании и укладке плитки, а также при определении горизонтальных и вертикальных линий;



Рис. 3. Лазерный уровень

– шлифовальные машины (Рис. 4) – автоматизируют процесс шлифовки поверхностей, что значительно повышает качество обработки и сокращает время работы.



Рис. 4. Шлифовальная машина

Эти инструменты значительно увеличивают производительность труда, снижая затраты времени и усилий на традиционные ручные методы. Их использование не только улучшает качество отделки, но и открывает новые горизонты для более сложных и креативных проектов в сфере отделочных работ [2, 3].

Стоит обратить внимание на то, что выше перечисленные инструменты упрощают работу человека облегчая такую. Однако стоит упомянуть инструменты, которые могут полностью заменить человека, как например:

– роботы штукатурки (Рис. 5) – представляют собой головную базу прямоугольного или квадратного очертания, стоящую на опорах, Загрузка смеси производится или принудительно в базу или может подаваться под давлением из емкости, которая находится за механизмом.



Рис. 5. Робот штукатур

– покрасочные роботы (рис. 6) – это автоматизированные устройства, предназначенные для нанесения лакокрасочных покрытий на различные поверхности. Покрасочные роботы могут быть интегрированы с системой подачи краски, клапанами для смены цвета, системой очистки и промывки, а также компьютерной системой управления процессом [4].



Рис. 6. Покрасочный робот

Автоматизация в сфере отделочных работ предоставляет ряд существенных преимуществ, способствуя повышению скорости и общей эффективности рабочих процессов. Механизированные инструменты позволяют достичь более высокого качества работ, обеспечивая точность и равномерность нанесения материалов, что

повышает стандарты отделки и продлевает срок службы готовых изделий.

Ещё одним важным преимуществом автоматизации является снижение физической нагрузки на работников, уменьшая риск профессиональных травм и заболеваний, что повышает их продуктивность и благополучие на рабочем месте. Этот подход особенно актуален при реализации крупных проектов, где время и ресурсы имеют решающее значение [5].

Однако автоматизация с использованием механизированных инструментов также связана с некоторыми ограничениями и трудностями. Основной проблемой является высокая стоимость оборудования и инструментов, что делает их недоступными для небольших строительных компаний и индивидуальных подрядчиков.

Кроме того, требуется время и ресурсы на обучение персонала работе с новыми инструментами, а сложные механизированные системы нуждаются в регулярном техническом обслуживании и могут быть менее надёжными по сравнению с традиционными методами, что может привести к задержкам в работе из-за поломок или неисправностей оборудования [6].

Таким образом, подводя итог можно сказать о том, что уровень технологий нашего времени позволяет ускорить процессы строительства на всех уровнях, при этом улучшая так же и качество выполненных работ.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Чачко Б.Г. Перспективы автоматизации технологических процессов в строительстве на примере укладки напольной плитки: / Издательство Мир строительства, 2012. 236 с.

2. Абдуллаев Г.А. Инновационные технологии и методы программного управления процессами бетонирования в условиях отрицательных температур:/ Издательство Техносфера, 2006. 288 с.

3. Косухин М.М., Косухин А.М., Шаповалов Н.А. Композиционное вяжущее для высокоморозостойких дорожных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 51-53.

4. Общестроительные отделочные работы: практическое пособие для строителя / [сост. Е. М. Костенко]. – М.: ЭНАС, 2009. 304 с.

5. Толубаева Л. Технико-экономический анализ используемых материалов для ремонтных работ деформационных швов.

6. Автоматизация и роботизация строительства: учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев. М.: Риор, 2017.

*Коваленко А.Д., Медведев А.И., Немцев А.А.  
Научный руководитель: Архипова Н.А. доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИАЛЬНОГО БИЕНИЯ, С ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ МИКАТОРОМ ПО 3 ПЛОСКОСТЯМ

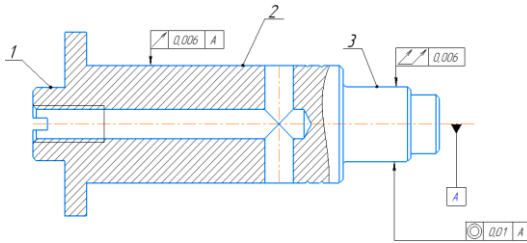


Рис.1 шпиндель, для которого разработано приспособление.

Для контроля поверхностей 1, 2 и 3 шпинделя резцового узла (рис.1) мною было разработано специальное контрольное приспособление (рис.2). Его уникальность в том, что перемещение головки микатора происходит по заданным координатам автоматически, без применения физической силы. Само приспособление (рис.2) состоит из: 1 - плита крепежная, 2 – корпус, 3 – бабка центровая, 4 - Индикатор ИЧ-25, 5 – измерительная головка, 6 – штатив, 7 – вагонетка, 8 – лента, 9 – электродвигатель, и вспомогательные элементы (болты, гайки, шайбы и т.п.). Так же, к данному устройству подключается ПК, для удобства ввода и вывода информации.

Произведем описание контролируемых размеров, изображенных на рис.1.

– Диаметральные размеры цилиндрических поверхностей: 1 поверхность -  $\varnothing 10_{-0,006}$ ; 2 поверхность  $\varnothing 16_{-0,034}^{-0,016}$ ; 3 поверхность  $\varnothing 10,2_{-0,034}^{-0,016}$ ,

– Радиальное биение, в диапазоне допусков – 0,006 ... 0,01 мм;

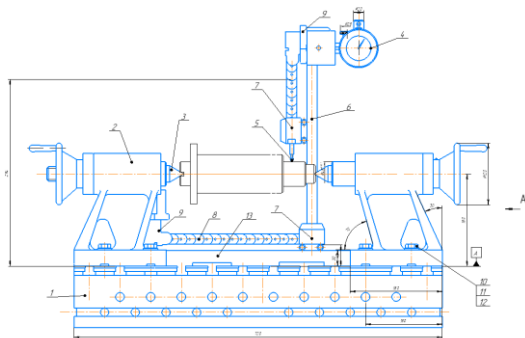


Рис. 2 разработанное приспособление.

Описание: приспособление для контроля радиального биения состоит из двух секций плит, скрепленными между собой, и с установленными на них центровыми бабками. В бабки вставлены центра. На плите также установлено устройство, которое может перемещать по заданным координатам штатив с индикатором часового типа, и производить измерения. Ось измерительной головки индикатора перпендикулярна оси ступени шпинделя.

Принцип работы: При контроле радиального биения шпиндель устанавливают в предварительно смазанные центра и прижимается одной из центровых бабок. Производится запуск системы, с помощью специальной программы, вводятся координаты, и измерительная головка перемещается к поверхности измерения. Показания индикатора устанавливаются на отметку «0». Биение ступени определяется измерением радиального положения измерительного наконечника, вводимого поочередно по поверхности. Шпиндель вращают вокруг своей оси и снимают показания индикатора. Разница между наибольшим и наименьшим показанием индикатора и составляет биение ступени шпинделя.

На данный момент приспособление еще не имеет созданного физического прототипа, оно находится в стадии проектирования. Данное приспособление имеет возможность перемещения по 3 координатам XYZ с помощью специальных направляющих. Ближайший прототип, это робот «ОРИОН», имеющий схожую структуру перемещения по осям.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев Л.В. – Проектирование технологической оснастки/ Л.В.

Лебедев, Н.А. Архипова, А.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе, В.А. Тимирязев Белгород. изд. лиц. ИД от 10.11.99. – 2002 г. – № 00434 - 96 стр.

2. Горошкин А.К. - Приспособления для металлорежущих станков. Справочник / А.К. Горошкин – Изд. 6-е. М., «Машиностроение», 1971 г. – 384 стр.

3. Косилова А.Г. - Справочник технолога машиностроителя в 2-х т. / А.Г. Косилова, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение-1985 г. - 312 стр.

*УДК 681.51*

*Козьмовский В.О., Амосов Д.Б.*

*Научный руководитель: Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АНАЛИЗ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «ПОЛЗУН»**

Аннотация. Статья посвящена краткому сравнительному анализу применения метода конечных элементов с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) Компас-3D, Altair Inspire и Autodesk Inventor для детали «Ползун».

Метод конечных элементов (МКЭ) используется в моделировании различных конструкций, изделий, сложных узлов и элементов для решения инженерных задач, которые позволяют выполнить сложный анализ прочностных нагрузок, колебания, теплопередачи, аэродинамики, гидродинамики и топологической оптимизации конструкции, где нужно дискредитировать и решить уравнения сплошной среды и поля.

В основу расчета МЭК используется конечно-элементная сетка (КЭ), формирующая геометрию детали, на которую можно приложить различные нагрузки, и граничные условия.[1]

В настоящее время для выполнения этих задач разработано множество САД/САЕ программ позволяющие решить почти все сферы инженерных расчетов. Произведем анализ конструкции на деталь «Ползун» по допустимым напряжениям, нагрузкам и перемещениям в САПР как Компас-3D, Altair Inspire и Autodesk Inventor.

Деталь «Ползун» (рис. 1) служит приспособлением для накатки рифлений ручек инструмента и оборудования, устанавливается в корпусе державки двухроликковой и фиксируется при помощи винта и

сухара через канавку, сама деталь принимает нагрузку от «накатного ролика», распределенная сила которой направлена на штифт, установленную в «ползуне».

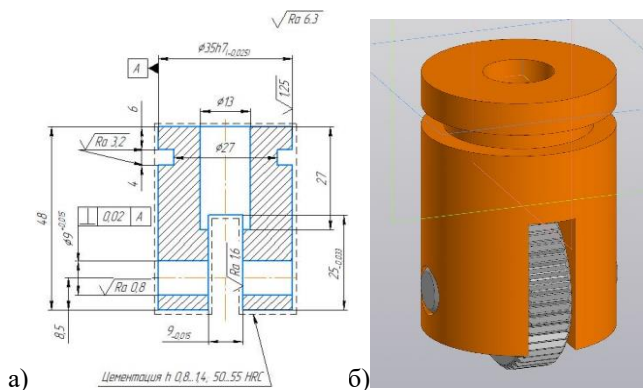


Рис. 1 а) Чертеж детали; б) 3D модель.

В разработанной 3D модели создаем конечно-элементную сетку, закрепление детали производим на корпус по пазу, а равномерную силу 250 Н/мм<sup>2</sup> указываем на накатный ролик, что соответствует с условием имитации рабочего состояния. В характеристиках материала указываем сталь ст20. Все эти операции выполняем в системах САПР Компас-3D, Altair Inspire и Autodesk Inventor, результатами расчетов будут считаться перемещения, нагрузки и напряжения на корпусе детали.

Рассмотрим результаты вычислений в Компас-3D (рис. 2).

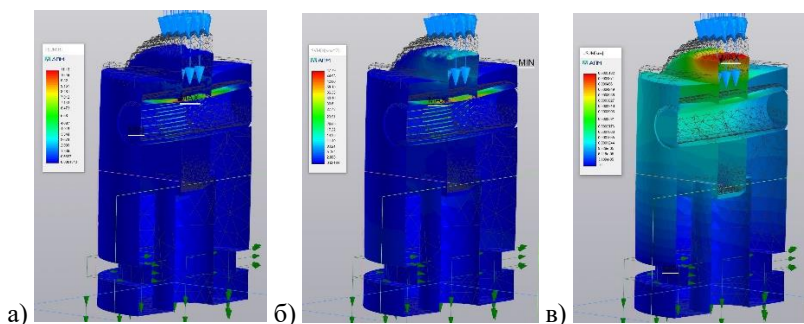


Рис. 2 Карты результатов нагрузок в САПР в Компас-3D; а – нагрузки; б – напряжения; в – перемещения.

В соответствии с заданными нагрузками были определены



следующие показатели: максимальные перемещения 0,0005218 мм накатном ролике, а на корпусе детали 0,0003652 мм, максимальная нагрузка 11,16 Н/мм<sup>2</sup> и напряжение 47.79 Па показана на штифте.

Рассмотрим результаты вычислений в Altair Inspire (рис. 3).

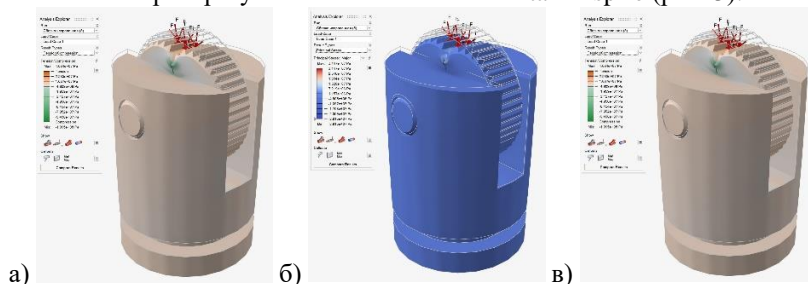


Рис. 3 Карты результатов нагрузок в САПР Altair Inspire:  
а – нагрузки; б – напряжения; в – перемещения.

В ходе расчетов по назначенным нагрузкам были получены следующие показатели: максимальные перемещения 0,0006631 мм накатном ролике, на корпусе 0,0004642 мм, максимальная нагрузка 11,83 Н/мм<sup>2</sup> и напряжение 40,34 Па на накатном ролике.

Проанализируем результатами вычислений в Autodesk Inventor (рис.4).

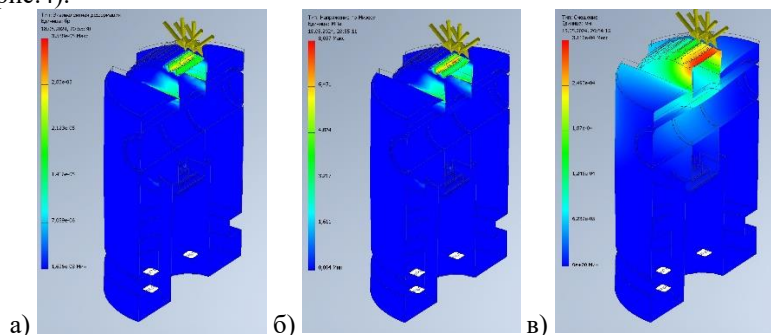


Рис. 4 Карты результатов нагрузок в САПР Autodesk Inventor:  
а – нагрузки; б – напряжения; в – перемещения.

В процессе вычислений по назначенным нагрузкам, были получены следующие показатели: максимальные перемещения 0,0004815 мм, нагрузка 9,53 Н/мм<sup>2</sup> и напряжения 37,15 Па показаны на накатном ролике, на корпусе перемещения 0,0003611 мм, нагрузка 1,6 Н/мм<sup>2</sup> и напряжения 1,5 Па.

Полученные результаты показывают, что каждая САПР предоставляет разные данные анализа МКЭ значений параметров действующих сил на деталь, но и места максимальных нагрузок и напряжений. Это связано с различным подходом каждой САПР к решению интегральных и дифференцированных уравнений, разбивке элементов для построения конечно-элементной сетки и типа аппроксимирующей функции.

На основе полученных данных о цифровом макете изделия с использованием САПР можно проводить быстрый анализ проектируемой конструкции детали "Ползун". Это открывает возможности для проектирования и конструкции изделия, позволяющие упростить техпроцесс изготовления, что в свою очередь, приведёт к положительному экономическому эффекту производства партии деталей.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Основы метода конечных элементов и инженерных приложениях [Текст]. С.В. Каменев, учебное пособие. 2019.
2. Desing process of executive elements in stroke mechanisms based on rammer's deformations and stress [Текст] Чепчуrow M.S., Voronenko V.P., Chirkov A.V. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Buildintech bit 2020. Innovations and technologies in construction. 2020
3. Оценка состояния оборудования технологической системы на основе расчетов напряженно-деформированного состояния [Текст] Чепчуrow M.C., Дуганов В.Я. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016.
4. К вопросу о контактном взаимодействии двух цилиндрических деталей технологического агрегата [Текст] Чепчуrow M.C., Миасова В.Е., Маслова И.В. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018.
5. Выбор конструкции и материала ударника с использованием пакетов метода конечных элементов в инженерии [Текст] Чепчуrow M.C., Жуков Е.М. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019.

*Козьмовский В.О.<sup>1</sup>, Толстиков С.Р.<sup>1</sup>, Фадеев А.Ю.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель: Жуков Е.М.<sup>2</sup> доц.*

*<sup>1</sup>Акционерное общество «Производственное объединение «Северное машиностроительное предприятие», г. Северодвинск, Россия*

*<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Перед судостроительными заводами стоят задачи по сокращению сроков формирования, испытания и сдачи заказов с целью освобождения мест на стапеле для закладки нового судна, а также проработка внедрение блочно-модульного метода проектирования и постройки кораблей. [1]

В ходе трудоёмкой и кропотливой работы с Минпромторгом России и ОСК Обществом было решено проделать опытную работу по модернизации мобильного расточного устройства УР-2600 1992 года выпуска, позволившее осуществить более точную расточку фланцев различных диаметров, а также обрабатывать плоские поверхности фундаментов под установку высокоточного оборудования. [2]

Сложность в реализации поставленных задач является введение санкций запада по отношению к Российской Федерации, что приводит к блокированию приобретения современного мобильного переносного оборудования.

Таким образом, перед судостроительной отраслью встаёт проблема отсутствия современного мобильного оборудования отечественного производства для выполнения обработки особо важных конструкций.

Для решения проблемы специалистами конструкторского отдела оснастки разработана конструкторская документация и с привлечением АО «ПОЗиС» на переоборудование устройства расточного УР-2600 с применением УЧПУ «NC-210» от «Балт-систем». Сконструированное устройство специальное расточное переносное СР-2600 (рис 1), которое позволяет выполнять обработку поверхностей комингсов из сталей типа АК диаметром от 1400 мм до 2600мм. [3]

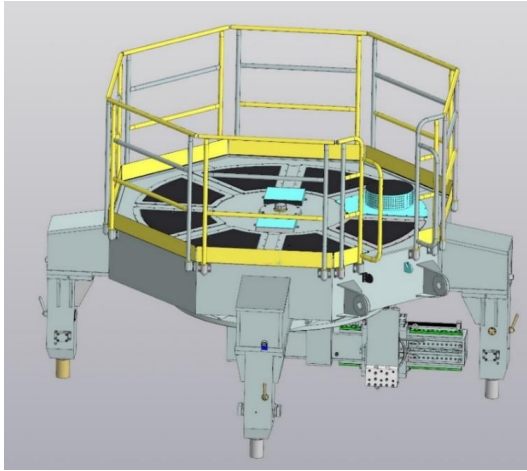


Рис. 1. 3D модель устройства специального расточного CP-2600.

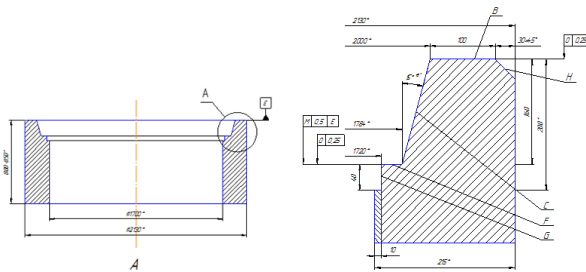


Рис. 2. Эскиз требований КД для выполнения опытной работы.

С целью внедрения специального расточного устройства CP-2600 в производство предприятия проведен производственный эксперимент для проверки точности при обработке комингса (рис 2) [4] на соответствие допусков отклонений линейных и угловых размеров, шероховатости.

Проверка специального расточного устройства проведена по следующей методике:

1. Комингс установлен на твёрдом основании и выверен относительно горизонта с точностью до 5'' (угловых минут).
2. Нанесены взаимно перпендикулярные друг другу осевые отметки I-III и II-VI в виде рисок длиной 15-20 мм и шириной 0,3 мм на наружную поверхность комингса.
3. Относительно рисок установлены и приварены с наружной стороны комингса кронштейны под установку специального расточного

устройства CP-2600.

4. При помощи регулируемых опор произведена выверка расточного устройства с помощью квадранта по высоте и в горизонтальной плоскости относительно положения комингса с точностью  $\pm 30'$  (угловых секунд).

5. Установлена в отверстие вала расточного устройства оптическая труба (Taylor Hobson).

6. При помощи отжимных винтов, перемещая опоры расточного устройства CP-2600, выверена вертикальная ось оптической трубы относительно вертикальной оси тестовой детали.

Выполнена обработка комингса. Управление расточным устройством осуществляется устройством числового программного управления (УЧПУ NC-210), установленным на поворотном кронштейне. [5]

Результаты выполненной опытной работы предоставлены в таблице.

Результаты производственного эксперимента показали, что устройство расточное CP-2600 полностью обеспечивает выполнения требований конструкторской документации и может использоваться в условиях производства.

В настоящее время в предприятии при постройке заказов удалось внедрить технологию обработки комингсов с использованием расточного устройства CP-2600 взамен импортного станка FF-8200 «Сімах». Главным преимуществом устройства специального расточного CP-2600, это осуществление управления за счет числового программного управления (ЧПУ), которое позволяет задавать координаты (X;Y) обработки и скорость вращения планшайбы, что обеспечивает исключения ступенчатости. [5]

Таблица проверки качества оборудования.

Мероприятия	Единицы измерения	Значения по чертежу	Фактическое значение
Проверка прямолинейности	мм	0,05	0,05
Проверка перпендикулярности	мм	0,03	0,02
Проверка шероховатости	Ra	B = 3,2 C = 6,3 F = 3,2 G = 3,2	B = 1,6 C = 1,6 F = 1,6 G = 1,6
Проверка плоскостности «B» и «F»	мм	0,25	0,05
Цилиндричность поверхности «G»	мм	0,4	0,2
Проверка перпендикулярности между «F» и «G»	мм	0,5	0,2

Мобильное переносное оборудование успешно внедрено и показывает высокое качество работы на предприятии.

В заключение анализа оборудования, хочется отметить, что точность обработки деталей всегда являлась одной из актуальных проблем военного судостроения. В ходе выполненной работы по модернизации отечественного оборудования позволило спроектировать и внедрить в производство специальное расточное устройство СР-2600, которое позволяет обеспечивать конструкторские требования современных комплексов судов.

Считаем необходимым ставить перед научными центрами страны задачи по разработке современных переносных станков отечественного производства, реализация которых позволит повысить качество отдельных отраслей промышленности и сократить зависимость от западного оборудования, что является в реалиях современного мира одним.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Библиотека отдела технического обучения АО «ПО «Севмаш».
2. Руководство по эксплуатации устройства расточного УР-2600 [Текст] 74.67.128.000.00. 1991.
3. Руководство по эксплуатации специального расточного устройства СР-2600 [Текст] 82.63.4878.0032. 2018.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах [Текст]. Изд. 3, переработанное. Под ред. д.т.н. А.Н. Малова. М, «Машиностроение». 1972.
5. Руководство по эксплуатации NC-210 [Текст] Устройство числового программного управления NC-210, «Балт-систем». 2019.

**УДК 62-523.8**

*Лукьянов А.С.*

*Научный руководитель: Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ ДИАМЕТРОМ ДО 110ММ НА БАЗЕ ШАРНИРНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

Отводы являются соединительными элементами трубопроводов, изменяющие направление магистрали. В зависимости от назначения и

материала трубопровода они изготавливаются из металла или ПВХ. Металлические отводы производят из стали, чугуна, меди или латуни. Отводы делятся на:

1. Крутоизогнутые
2. Штампованные
3. Сварные секционные
4. Гнутые

Подготовка кромок под сварку делится на зачистку и разделку. Зачистка производится с целью удаления всех дефектов поверхности изделия. Кромки обрабатывают до металлического блеска поверхности. При небольших объемах работ зачистку производят ручными металлическими щетками, напильниками и шлифовальными дисками. При больших объемах работ применяются пескоструйные аппараты. Разделка производится либо с одной, либо с двух сторон, в зависимости от толщины. В обоих вариантах скосы выполняются без острой кромки, и на последних миллиметрах делается притупление до плоской кромки. С применением механической обработки разделка может быть выполнена с помощью долбления, фрезерования и строгания. На строгальных станках подготавливаются прямые стыки. Движение резца позволяет снять лишний металл и получить требуемую форму. Для обработки сложных швов криволинейной формы используются фрезерные станки, движение фрезы которого управляется как вручную, так и автоматизировано при помощи программ. Более сложную конфигурацию шва обработать вручную невозможно.[1]

При подготовке кромок отводов под сварку применяют как расточные станки, так и переносные кромкосниматели, которые устанавливаются напрямую на заготовку и обрабатывают ее. Поверхность получается низкого качества и требует дополнительной механической обработки.

Для получения оптимального качества кромок под сварку применяют шарнирные манипуляторы, которые подходят как для механической обработки кромок, так и для сварки трубопроводов.

Оборудование, необходимое для разделки кромок отводов шарнирными манипуляторами:

1. Шарнирный манипулятор:
  - 6-осевой робот с достаточной грузоподъемностью и радиусом действия.
  - Примеры: ABB IRB 6700, KUKA KR 16-2, Fanuc R-2000iC/165F.
2. Система управления:
  - ПЛК для управления роботом и сварочным источником.

- Панель управления для задания параметров сварки и контроля процесса.

3. Сварочный источник:

- TIG, MIG/MAG, FCAW - выбор зависит от материала, толщины стенки и требований к сварному шву.

4. Сварочная горелка:

- С автоматическим позиционированием и подводом сварочной проволоки.

5. Приспособления:

- Позиционер для фиксации отвода.

- Зажимное устройство для фиксации сварочной горелки.

- Шаблоны для контроля разделки кромок.

Точное позиционирование робота обеспечивает высокое качество разделки кромок и позволяет автоматизировать процесс, снижает себестоимость за счет уменьшения количества брака и исключает человеческий фактор из процесса разделки.

Шарнирные манипуляторы все чаще используются в производстве для разделки кромок и сварки трубопроводов. Газпром нефть использует роботы ABB IRB 6700 для сварки труб большого диаметра, манипуляторы выполняют разделку кромок, сварку и контроль качества сварного шва. Транснефть применяют на нефтеперерабатывающих заводах роботы KUKA KR 16-2 для сварки трубопроводов, обеспечивая высокую точность и производительность сварки. Сибур использует роботы Fanuc R-2000iC/165F для сварки труб из различных материалов. Роботы помогают автоматизировать процесс сварки и повысить качество продукции.

Существует несколько методов реализации автоматизированных комплексов. Одним из них является сварка встык. Она осуществляется одним шарнирным манипулятором и подходит для труб малого (до 150мм) и среднего (до 400мм) диаметров. Сварка встык выполняется за счет сварочного манипулятора с позиционером для точного позиционирования и ориентации труб с возможностью выбора типов сварки: TIG, MIG/MAG, FCAW. Данный метод обеспечивает высокое качество сварного шва за счет точной фиксации труб.

Следующим методом является сварка с разделкой кромок. Для сварки с предварительной разделкой кромок предпочтительнее выбирать двухманипуляторный комплекс. Один манипулятор служит для позиционирования трубы, а второй для ее сварки. Данный метод подходит для труб большого диаметра (более 400мм) и толстостенных труб, так же он позволяет сваривать трубы сложной геометрии. Типы сварки, используемые при данном методе: SAW, GMAW, FCAW.



Для сварки кольцевых швов используют двухманипуляторный комплекс. Один необходим для позиционирования трубы, а второй для вращения свариваемого изделия и его сварки. Данный метод подходит для сварки трубных соединений, фланцев и штуцеров и обеспечивает высокое качество сварного шва за счет равномерного распределения тепла.

Оптимальная структура комплекса шарнирных манипуляторов для сварки трубопроводов зависит от конкретных условий.

Для разделки кромок используют как ручные инструменты (рубанок, фрезер, шабер), так и механические (кромкорезные станки, фаскорезные станки, иглофрезы). Иглофреза, как и другие механические инструменты, использует вращающиеся элементы (иглы) для срезания металла и предназначен для разделки кромок листового металла и труб. Преимущества иглофрез:

1. Высокая производительность. Иглофреза работает с большой скоростью, что позволяет быстро обрабатывать большие объемы металла. За один проход можно снять значительный объем металла. Скорость обработки в несколько раз выше, чем у ручных инструментов.

2. Чистая и точная разделка кромок. Иглы срезают металл без образования заусенцев и шероховатостей. Обеспечивается высокая точность геометрических параметров разделки. Поверхность кромки получается гладкой и ровной, что улучшает качество сварного шва и снижает необходимость в последующей обработке.

3. Малая шероховатость. Шероховатость поверхности кромки после обработки иглофрезой составляет Ra 0,8-1,2 мкм. Это значительно ниже, чем у других механических инструментов. Снижение шероховатости увеличивает усталостную прочность, снижает коррозионную активность и улучшает эстетический вид.

4. Универсальность. Иглофрезы могут использоваться для обработки различных материалов: сталь, чугун, алюминий, медь, титан, нержавеющая сталь. Подходят для обработки листового металла и труб разной толщины (от 0,5мм до 3мм, иногда до 6мм). Могут применяться для разделки кромок под сварку, снятия фасок, удаления заусенцев и подготовки кромок к мех. Обработке.

5. Долговечность. Иглы из твердого сплава имеют высокую стойкость. При правильной эксплуатации срок службы игл составляет несколько месяцев. Замена игл не представляет сложности.[5]

В целом, иглофрезы - это эффективный и универсальный инструмент для разделки кромок, который обеспечивает высокую производительность, точность и чистоту обработки.

Современные роботизированные системы по подготовке заготовок под разделку и сварку обеспечивают высокую производительность и качество процессов, но при этом CAN-системы не позволяют сформировать оптимальную программу обработки, которая обеспечит в соответствии с оборудованием заданную производительность и точность измерений и обработки

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилин А.Н. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения/ Гаврилин А.Н., Мойсес Б.Б.// Контроль. Диагностика. – 2013. - No 9. – С. 81-84

2. Болтенкова, О.М. Разработка процессов гибки тонкостенных крутоизогнутых патрубков проталкиванием и раздачей трубных заготовок : специальность 05.02.09 "Технологии и машины обработки давлением" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Болтенкова Оксана Михайловна. – Воронеж, 2013. – 221 с. – EDN SUYHMN

3. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация параметров механической обработки крупногабаритных деталей: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 232 с.

4. Чепчуров М.С. Позиционирование изделия в процессе автоматизированного бесконтактного контроля формы его поверхности качения / М. С. Чепчуров, Б. С. Четвериков // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2016. - No 2. - С. 99-103.

5. Артемьев, В. И., и др. "Автоматизированная система контроля параметров заготовок методом режущего инструмента." Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2015, No 1 (647), с. 28-35.

*Микусов Е.О.*

*Научный руководитель: Мингалеева Г.Р., д-р техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия*

## **ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГТУ НА ИСКУССТВЕННОМ ГАЗЕ**

Для обеспечения стабильной и бесперебойной работы газовой турбины необходимо иметь информацию о составе и показателях теплоты сгорания газотурбинного топлива. Технология производства синтезируемого газа определяет постоянство расхода и других тепловых характеристик. На стабильность показателей расхода топлива и прочих характеристик влияют условия взаимодействия между технологическим блоком и энергетическим блоком в общей схеме ПГУ с внутрицикловой газификацией. Одним из показателей, помогающих определить колебания теплотехнических характеристик в устройстве, является индекс Воббе. Использование искусственного газа в качестве топлива ГТУ приводит к неизбежному повышению температурных и барометрических характеристик в установке. В результате это приводит к частичному перекрытию форсунки в камере сгорания.

Понижение расхода топлива приводит к падению давления, а также неконтрольному повышению расхода топлива в камере сгорания и увеличению колебаний давления на форсунке. В свою очередь, понижение теплоты сгорания топлива будет вызывать обратную реакцию. Таким образом, динамика данных показателей будет служить обратной связью и формировать автоматические колебания давления продуктов в КС ГТУ. Подобные колебания показателей могут привести к повреждению конструкции газовой турбины и в перспективе к её разрушению.

Для того, чтобы обеспечить стабильное и бесперебойное горение искусственного газа и сократить перепады давления, была разработана так называемая система демпфирования. Принцип этой системы установки, разработанной компанией Mitsubishi Heavy Industries (МНН) заключается в нижеследующем: непосредственно в камере сгорания, а именно в её составной части, жаровой трубе размещается так называемый пояс акустических поглотителей, назначением которых является поглощение колебаний высокой частоты в камере сгорания. Система демпфирования представляет из себя внутреннюю поверхность полостных отверстий, посредством аккумуляции

позволяющих накапливать акустическую энергию в теле демпфера для её последующего возвращения в цикл. В частности, при частоте колебаний не более 500 Гц применяется демпфер низких частот.

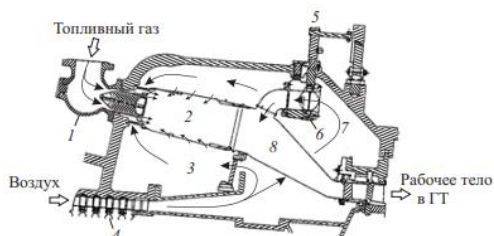


Рис.1. Схема камеры сгорания с байпасным клапаном ГТУ производства МНІ: 1 - сферическое колено; 2 - жаровая труба(зона горения); 3 - воздух на горение; 4 - компрессор; 5 - регулятор; 6 - байпасный клапан; 7 - байпасируемый воздух; 8 - переходная часть камеры сгорания (зона смешения)

Сжатый воздушный поток, направляющийся из компрессора в камеру сгорания разделяется на три части: 1) Поток, предназначенный для сжигания топлива. 2) Поток, направленный на понижение концентрации продуктов сгорания при выходе из КС с целью поддержания приемлемой температуры для входа в газовую турбину. 3) Поток, направленный на понижение температуры проточной части турбины.

Использование искусственного топливного газа в качестве альтернативы стандартному в результате приводит к понижению расхода воздуха, который подаётся на горение, и в результате этого в общем балансе масс уменьшилось долевое количество воздуха, который мог быть использован для охлаждения деталей газовой турбины и разбавления продуктов сгорания топлива. Для того, чтобы нивелировать данный недостаток, применяется паровое охлаждение либо создаётся дополнительный закрытый контур охлаждающего воздуха.

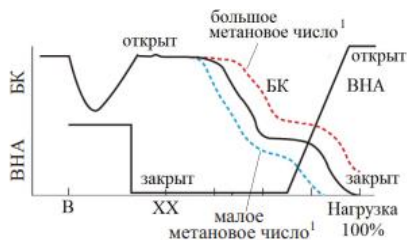


Рис. 2. Режимы работы байпасного клапана: ВНА - входной направляющий аппарат; В - воспламенение топливного газа; XX - холостой ход.

Коэффициент избыточного воздуха в камере сгорания регулируется известными традиционными методами в режиме переменной нагрузки. К примеру, в газотурбинных установках производства компании Mitsubishi Heavy Industries предусмотрен агрегат, который называется – байпасный клапан. Клапан размещен внутри корпуса камеры сгорания. Байпасный клапан регулирует подачу воздуха из компрессора в резервуар камеры сгорания и в зависимости от своего состояния пропускает подаваемый воздух в зону горения (при своём закрытом состоянии) либо в зону смешения (при состоянии, когда он открыт наполовину). Это позволяет стабильно поддерживать коэффициент избыточного воздуха в корпусе камеры сгорания в режиме частичной нагрузки.

Таким образом высокую актуальность представляет область исследования оптимизации работы ГТУ на искусственном газе. В частности, расчёт показателей индекса Воббе и коэффициент избыточного потока воздуха являются одними из основных параметров при проведении расчётов и исследований в области исследования газотурбинных установок. В конечном итоге, это в свою очередь может быть использовано в ряде областей исследования таких как газификация внутри цикла ПГУ, исследование циклов ГТУ малой мощности и т.д.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Анализ работы парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля : учебное пособие / А.Ф. Рыжков, П.С. Филиппов, Т.Ф. Богатова ; Мин-во науки и высшего образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019.— 168 с.
2. Гафуров А.М., Гафуров Н.М. Пути повышения эффективности современных газовых турбин в комбинированном цикле. // Энергетика Татарстана. – 2015. - № 1 (37). – С. 36-43.
3. Смирнов И.И. Внутрицикловая газификация твёрдого топлива. / И.И. Смирнов, Г.В. Кузнецов, В.С. Горбаченко – М.: Наука, 2015.
4. Лукьянов И.Н. Внутрицикловая газификация топлива для энергетических установок. / И.Н. Лукьянов, А.В. Шишкин, А.Л. Аникин и др. – М.: Издательство "Недра", 2018.
5. Integrated gasification combined cycle (IGCC) / Global Energy Monitor.[Электрон.ресурс.]/[https://www.gem.wiki/Integrated\\_Gasification\\_Combined\\_Cycle\\_\(IGCC\)](https://www.gem.wiki/Integrated_Gasification_Combined_Cycle_(IGCC))
6. Particulate control devices in Kemper County IGCC project / X. Guan, A. Hewitt, W.W. Peng, P. Vimalchand, M. Nelson, T. Pinkston, D.

Madden // Energy Reports. 2019. P. 969–978.  
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.07.009>

7. Techno-economic analysis of oxy-fuel IGCC power plants using integrated intermittent chemical looping air separation / S. Bin, X. Wen, W. Wei, K. Po-Chih // Energy Convers. Manage. 2019. V. 195. P. 290–301.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.006>

8. The oxygen production pre-combustion (OPPC) IGCC plant for efficient power production with CO<sub>2</sub> capture / C.L. Pozo, S. Cloete, J.H. Cloete Á.J. Álvaro, Sh. Amini // Energy Convers. Manage. 2019. V. 201. P. 112109. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112109>

**УДК 62-529**

*Немцев А.А., Коваленко А.Д., Мухомолов Э.А.*

*Научный руководитель: Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ**

На сегодняшний день станки с числовым программным управлением (ЧПУ) являются широко распространенным оборудованием в современных производствах, используемым для изготовления деталей машин. Их уникальность заключается в возможности автоматизации механической обработки, высокой универсальности и достижении высокой точности. Вместе с этим, эти станки требуют разработки и отладки управляющих программ, что увеличивает затраты времени на техническую подготовку производства. Для создания управляющих программ требуются высококвалифицированные программисты. Обычно перед разработкой программ происходит подготовка различной технической документации, такой как расчетные карты, карты наладки и карты кодирования информации. Один из методов уменьшения затрат на разработку программ - автоматизация данного процесса. Автоматизированное проектирование позволяет сократить время, необходимое для создания управляющих программ, уменьшить сложность процесса, снизить вероятность ошибок и обеспечить более гармоничное производственное окружение в целом. Поэтому применение современных систем автоматизированного проектирования для разработки управляющих программ для станков с

ЧПУ является ключевым фактором успешного и эффективного производства высококачественных продуктов.

Особенности разработки управляющей программы рассмотрим на примере технологической операции, выполняемой на токарном станке, модели 16К20Ф3С32 (рис. 1), для условий обработки ступенчатого вала. В качестве заготовки используем штучную заготовку, отрезанную из сортового проката, прошедшую предварительно фрезерно-центровальную операцию для формирования комплекта технологических баз. Данный станок отечественного производства и в нем используется система ЧПУ – 2Р22.



Рис. 1 Общий вид станка модели 16К20Ф3С32

С появлением приложения весь процесс от проектирования детали до передачи 3D-модели на станок с ЧПУ проходит в единой среде. Для предприятия это означает сокращение срока подготовки изделий. Упрощается и работа инженера-технолога — он использует одну 3D-систему, не отвлекаясь на сторонние приложения, и уверен в точности данных, на основе которых разработана управляющая программа.

Работа приложения в составе КОМПАС-3D позволяет в автоматическом режиме перестраивать управляющую программу для станка с ЧПУ в случае изменения геометрии детали.

Основные возможности приложения:

- построение контуров обработки визуальным выбором поверхностей или эскизов непосредственно на трехмерной модели;
- автоматический расчет траекторий;
- генерация управляющей программы в промежуточном коде на основе стандарта ISO;

- конвертация управляющей программы в коды конкретной системы ЧПУ с помощью постпроцессоров и ее визуализация.

Для начала работы необходимо указать нулевую точку и выбрать систему ЧПУ станка. Данная точка имеет свои оси координат и начало отсчета, от которого будут заданы все размеры координаты перемещения инструмента во время обработки на станке.

Чтобы создать управляющую программу, необходимо задать заготовку и используемые инструменты.

Воспользуемся функцией «Заготовка, инструменты», она позволяет настроить инструмент и заготовку. В первом меню мы можем настроить заготовку. Выберем вариант с загрузкой готовой модели (рис.2).

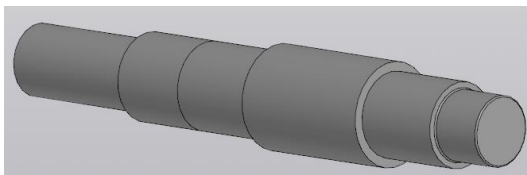


Рис. 2 Готовая 3Д модель

Для выполнения черновой обработки, выберем проходной резец левый и правый (рис.3). Для более тщательной настройки необходимо перейти в таблицу переменных. Выберем резец для чистового точения внешнего контура заготовки (рис. 3).

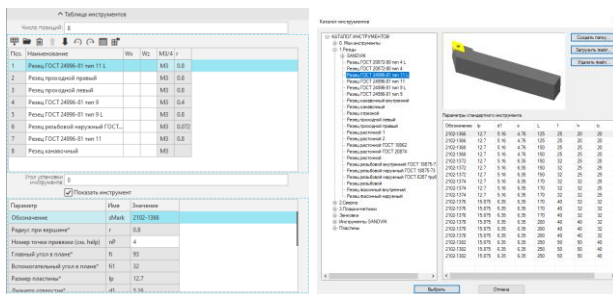


Рис. 3 Настройка инструмента

Для безопасной смены инструмента во время обработки в управляющей программе необходимо задать исходную точку, где инструмент будет начинать свое движение. Укажем координаты.



Настроим зону безопасности (рис. 4). Она предназначена для ограничения движения инструмента на быстром ходу при обработке по управляющей программе. Укажем координаты.

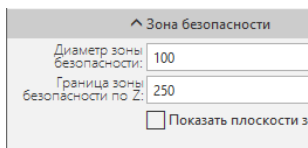


Рис. 4 Зоны безопасности

Используем операцию «многопроходная». В появившемся окне нам необходимо выбрать обрабатываемые поверхности (рис. 5).

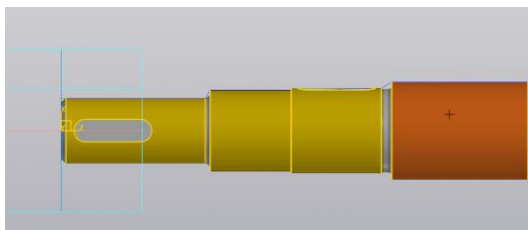


Рис. 5 Многопроходная обработка

В обработке будем использовать проходной резец, после выбора инструмента мы можем посмотреть исходный код программы и увидеть местоположение инструмента при обработке.

В панели «стратегия», происходит настройка движения инструмента, траектория выхода в точку начала обработки, траектория возврата в исходную точку, подвод и перебег (рис.6). В меню схема можно выбрать машинный или станочный цикл обработки. При выборе станочных циклов траектория движения инструмента не будет отображаться в окне создания программы.

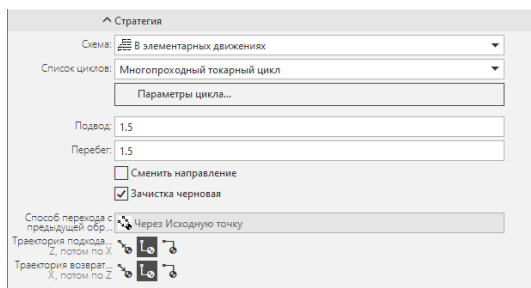


Рис. 6 Стратегия

Обработаем внешний контур детали операцией контур. Аналогично, как и с многопроходной операцией указываем параметры для обработки детали.

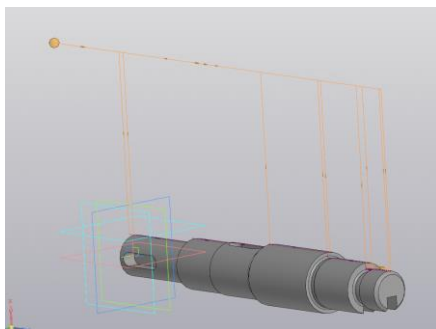


Рис. 7 Траектория обработки

После создания всех необходимых операций постпроцессируем программу, т.е. переводим ее на язык понятный станку, такой как «iso 7 bit».

```

( Деталь )
N001 G90 G40 G17
( )
( ===== )
( Черновая 1 переход )
( ===== )
( )
N002 T3
N003 S700 F0.25
N004 M03
N005 G00 X200 Z-2.3
N006 G00 X20 Z-2.3
N007 G01 Z44.4
N008 G01 X25
N009 G01 Z69.4
N010 G01 X26
N011 G01 Z100.4
N012 G01 X30
N013 G01 Z146.040
N014 G00 X200
N015 G00 Z-50
N016 M01
( )
( ===== )
( Черновая 2 )
( ===== )
( )
N017 T2
N018 S700 F0.25
N019 M03
N020 G00 X200 Z190.7
N021 G00 X20 Z190.7
N022 G01 Z172
N023 G01 X25
N024 G01 Z144
N025 G01 X31.4
N026 G00 X200

```

Рис. 8 Программа обработки

Выполнив все вышеперечисленные манипуляции, программа готова для загрузки на станок и обработки изделия.

В данном примере была проведена обработка детали вал в модуле САМ Компас 3D. Была создана 3D-модель детали и получен набор инструкций, управляющих движением режущего инструмента станка с ЧПУ. В результате, использование автоматизированной подготовки программ для ЧПУ позволило добиться высокой автоматизации процесса и возможности программирования на производство нескольких деталей с минимальным вмешательством человека.

Таким образом, обработка с ЧПУ является важным процессом, используемым в обрабатывающей промышленности для производства точных и сложных деталей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чепчуров М.С, Е. М. Жуков, А. Г. Схиртладзе. Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства и программная обработка. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. — 248 с.

2. Токарный инструмент каталог GESAC, 2021. – с. 179.

3. Чепчуров М.С. Методические указания по практической работе: Подготовка файлов корректоров и срока службы инструмента. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. — 20 с.

УДК.658.5

*Норман А.В., Шевченко А.Р.*

*Воронежский государственный технический университет,*

*г. Воронеж, Россия*

## **НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОИЗВОДСТВУ НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Введение. На современном этапе развития большинство областей машиностроения, таких как автомобилестроение, авиастроение, ракетостроение и др. уже невозможно представить без использования систем автоматизированного проектирования (САПР).

САПР используется для выполнения конструкторских и технологических работ, а также работ по технологической подготовке производства. С помощью САПР производят трехмерное моделирование деталей и узлов, выполняют разработку рабочих чертежей, прорабатывают различные схемы и компоновки, составляют технологическую документацию, визуализируют работу механизмов, моделируют процессы их сборки / разборки, проектируют вспомогательную оснастку, на основе уже созданных объемных моделей детали, составляют управляющие программы для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), а также производят расчеты различных состояний объекта.

Кроме того, современные САПР применяют для сквозного автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства, изготовления изделий отраслей машиностроения и их анализа, а также для электронного управления технической документацией и ведения архивов [1].

Объединение САПР с автоматизированной системой управления предприятием позволяет создать единый информационный комплекс, внедрение которого позволяет: существенно сократить цикл создания изделия (в 1,5-2 раза); снизить материалоемкость изделия (на 20-25%); уменьшить затраты на производство (на 15-20%); повысить качество изделия и конкурентоспособность предприятия.

В настоящее время, практически все предприятия машиностроения стремятся перейти на электронный документооборот. Именно такой подход, в полной мере, обеспечивает качество продукции, удовлетворяющее запросам потребителя, и реализуется в результате максимального использования различных систем управления качеством на основе САПР

Применительно к машиностроительному производству, система управления качеством в основном реализуется благодаря: многоступенчатому контролю; контролю у себя, в том числе и контролю на этапах изготовления (внутренние испытания, государственные испытания); контролю от заказчика; контролю с обратной связью.

В середине 90-х годов в ОКБ нашей страны появилась концепция создания электронного макета изделия. Традиционная технология создания изделия машиностроения в чрезвычайно упрощенном виде такова: в зависимости от первоначального замысла и от исходных требований заказчика, разрабатываются общая схема и компоновка изделия, проводятся основные расчеты, определяются главные характеристики будущего изделия. Затем наступает очередь отдельных узлов. На этом этапе подбираются или проектируются в черновом варианте основные агрегаты и системы, после чего создается физический макет в натуральную величину (стадия создания макета является весьма трудоемкой и требует больших временных и денежных затрат). Все это предъявляется заказчику, и он решает, стоит ли работать дальше. Если заказчик дает добро, выпускается полный объем рабочей конструкторской документации, которая передается в опытное производство. Здесь решается множество вопросов, связанных с технологией изготовления и сборкой изделия.

Один из наиболее длительных и дорогостоящих этапов – это этап вычерчивания деталей, агрегатов и их увязка между собой, при этом все изменения фиксируются внесением соответствующей записи в конструкторскую документацию. И даже после этого этапа в конструкции остаются «места», которые могут иметь неточности, проявляющиеся при сборке. В результате дорогостоящие детали уходят в брак, срываются сроки, повышается стоимость разработки изделия.

Новый метод основан на принципе создания единой электронной модели, как бы сверху вниз (рисунок 1). На начальном этапе конструктор задает параметры, определяющие функциональные характеристики изделия: основные технические требования, пространственную конфигурацию, некоторые специфические функции. Затем на основе этих параметров komponуются основные узлы, агрегаты, системы и проектируются связи между ними.



Рис. 1 – Этапы разработки единой электронной модели

Известно, что стоимость каждого изменения в конструкции от этапа к этапу возрастает. Поэтому очень важно максимальное возможное количество вариантов "проиграть" на ранних стадиях, до стадии рабочего проектирования. При изменении конструкции даже одной детали на стадии подготовки производства, придется заменить и сопряженные с ней детали, оснастку, инструмент и, в конечном итоге, весь технологический процесс.

Если же говорить об изменениях, возникающих уже на стадии эксплуатации готового изделия, то затраты становятся весьма ощутимыми. Внедрение современных САПР позволяет производить контроль качества на всех этапах создания объекта, начиная от проектирования и заканчивая испытанием [2].

Трудности внедрения САПР на производстве.

Несомненно, все эти и другие преимущества применения САПР вызывают огромный интерес к данному виду программного обеспечения [3]. Однако не стоит забывать, что решая одни проблемы, мы неотвратимо сталкиваемся с новыми.

1. Проблема выбора САПР. САПР любого предприятия должен уметь работать с большим объемом данных, быть надёжным и стабильным в работе, обеспечивать максимальный уровень параллельного инжиниринга и доступ к данным большому количеству пользователей.

2. Аппаратное обеспечение. Внедрение САПР на производстве требует переоснащения рабочих мест новой вычислительной техникой и налаживанием стабильной сети для обмена данными [1].

3. Проблема квалификации персонала.

4. Особую трудность, при внедрении САПР вызывает процесс согласования и подписания разработанной электронной

конструкторско-технологической документации. Решение этой задачи видится в использовании электронной цифровой подписи (ЭЦП), обеспечивающей целостность и юридически доказательное подтверждение подлинности электронных данных [4]. Применение ЭЦП позволяет присвоить электронному документу, созданному в различных САПР, статус или атрибут, подписание электронной цифровой подписью, проведение изменений [5]. При этом одним из перспективных вариантов реализации процесса согласования является согласование через программное обеспечение «Teamcenter» (ТС) [6, 7], которое представляет собой корпоративную информационную систему, позволяющую управлять, сохранять, приумножать, распределять интеллектуальную собственность предприятия.

Таким образом, внедрение САПР в производство требует огромного количества средств, для преодоления существующих проблем. Однако, на сегодняшний день уже существуют множество предприятий, успешно наладивших проектирование и выпуск продукцию по новой, полностью безбумажной технологии.

Так, на большинстве машиностроительных предприятий г. Воронежа были внедрены не просто замена бумажных чертежей на электронные модели, выполненные в 2D и 3D системах проектирования, но и системный подход к проектированию, когда проектное решение проверяется моделированием на каждом уровне разработки ещё до начала изготовления физического компонента / подсистемы / системы / прототипа изделия. При этом, испытания на каждом уровне проводятся не для поиска решений, а для подтверждения полученных результатов и валидации используемых математических моделей.

Таким образом, системы автоматизированного проектирования стали неотъемлемой частью современного производства. Разработчики САПР, в свою очередь, постоянно улучшают свою продукцию для повышения удобства, надёжности и стабильности работы. Можно с уверенностью сказать, что в будущем САПР только укрепит свои позиции, а безбумажное проектирование станет нормой на каждом предприятии.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Мантуров Д.В. Основные направления интегрированного применения информационных технологий при организации производства в авиастроении / Д.В. Мантуров, А.И. Тихонов // Ж. Труды МАИ, 2012. №50.

2. Бондарь А.В. Структура управления качеством конкурентоспособной продукции / А.В. Бондарь, И.Т. Коптев, А.В. Перова // «Прогрессивные технологии и оборудование в машиностроении и металлургии»: сб. науч. трудов, Междунар. науч.-техн. конф. Липецк: 2006. – Ч.1. – С. 39-43.

3. Нутфуллаева Л. Н. Изучение перспективы автоматизации инженерно-конструкторских работ / Л.Н. Нутфуллаева, Х.А. Назарова, С.Р Юлдошева, Д.М Бахронова // Ж. Молодой учёный, 2016. №10.

4. Лебедев А.В. CALS-технологии в проекте МС-21 / А.В. Лебедев, М.В. Гришин // учебное пособие. В 2 ч. Ульяновск : УЛГТУ, 2020 -136 с.

5. Судов Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова – М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро», 2006 – 232 с.

6. Чижов М.И. Методика и особенности использования PDM системы Teamcenter в учебном процессе подготовки инженерных кадров / М.И. Чижов, А.В. Бредихин, В.В. Ветохин // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2010) труды международной конференции. 2010. С. 259-260.

7. Смоленцев, Е.В. Современный подход к организации конструкторско-технологического документооборота / Смоленцев Е.В., Бобрешов Д.И., Норман А.В. // XI Всероссийская научно-практическая конференция имени академика А.Г. Шипунова: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции (г. Ливны, 22 марта 2024 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ОГУ имени И.С. Тургенева ; редкол.: Г.Д. Дорохова [и др.]. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024. – С. 68- 73.

**УДК 662.769.2**

***Пучинин В.О.***

*Научный руководитель Марьин Г.Е., канд. техн. наук, ст. преп.,  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА**

Около 65% энергии в мире получают за счет жидких и газообразных ископаемых видов топлива, при этом нефть – крупнейший



источник топлива, обеспечивающий более 92% мирового спроса на энергию для транспорта.

Так как количество автомобилей на дорогах растёт в геометрической прогрессии каждый год, возрастают и экологические проблемы, связанные с выбросами выхлопных газов и глобальным потеплением. На сегодняшний день автотранспорт потребляет 18% первичной энергии и более 17% глобальных выбросов диоксида углерода (CO<sub>2</sub>). Избыточное выделение углекислого газа в окружающую среду грозит серьезными последствиями: изменением атмосферы, таянием ледников и увеличением чрезвычайных климатических явлений. Именно поэтому существует необходимость перевода транспорта на более чистые источники энергии [1,2].

### **Преимущества водородного топлива**

Несмотря на то, что альтернативных источников топлива несколько, водородная энергетика наиболее перспективна из-за ее экологической чистоты.

В качестве вторичного энергоносителя водород можно получить из любого первичного источника энергии, начиная от ископаемого топлива и заканчивая ядерными или возобновляемыми источниками энергии.

При производстве водородной энергии почти не выделяется побочных продуктов, кроме воды. Это легкий, бесцветный и нетоксичный газ без запаха обладает самым высоким удельным энергетическим содержанием среди всех традиционных видов топлива, предложенных на рынке. К примеру, по сравнению с углеводородным топливом, водород при сгорании выделяет примерно в 2,75 раза больше энергии, а именно 120 МДж / кг.

Так как водород обладает способностью безопасно рассеиваться в воздухе, он имеет ряд преимуществ над другими видами топлива.

Водород имеет минимальное применение в транспортной отрасли во всем мире. На 2017 год во всем мире эксплуатировалось примерно 8000 автомобилей на водородном топливе. Так, например японская автомобильная компания Toyota представила автомобиль Toyota Mirai (см. Рис. 1). Эту модель можно назвать серийным первооткрывателем на современном авторынке.



Рис. 1. Toyota Mirai

В Toyota Mirai водород используется не в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания, а для подзарядки встроенного в машину аккумулятора, который питает электродвигатель. Эта технология является более перспективной чем применение водорода в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания.

Toyota хочет быть лидером в области водородных технологий, позволяющим сделать процесс эксплуатации водородной машины совместимым с сегодняшней моделью поведения водителей, которые пользуются обычными автомобилями.

Необходимо не только создать автомобиль, работающий на водороде, а также инфраструктуру для него. Получение водорода – процесс не сложный, но требует много энергии.

Оказывается, Россия обладает потенциалом в производстве водорода. В настоящее время в России производится более 2 млн тонн водорода, а именно как побочный продукт на заводах по производству удобрений или на нефтеперерабатывающих заводах. Этим объемом можно заправить более 10 миллионов автомобилей. Для этого необходимы огромные инвестиции и новые технологии, которые маловероятны в условиях санкций.

Хотя текущие разработки в области транспортных средств, работающих на водороде, являются многообещающими, они не получают должного распространения, учитывая объёмы в мировом рынке транспортных средств. Однако в некоторых странах планируется увеличение доли водородного транспорта.

Япония планирует увеличить количество водородных автомобилей на дорогах до 800 000 к 2030 году, а также планируется увеличение количества заправочных станций до 320.

Китай планирует увеличение автопарка на водородном топливе до

миллиона к тому же 2030 году [3].

Южная Корея планирует постепенно увеличивать количество водородных автомобилей до 100 000 к 2025 году и до 630 000 к 2030 году соответственно.

### **Проблемы, связанные с транспортом, работающим на водороде**

Для достижения увеличения доли водородных автомобилей необходимо обеспечить необходимую инфраструктуру, которая позволит эффективно доставлять водородную энергию на заправочные станции.

В настоящее время существует три различных способа доставки водорода: прицепы с водородными трубками, автоцистерны для перевозки криогенных жидкостей и магистрали для подачи сжатого газа

Существует еще одна серьезная проблема, требующая решения, это разработка эффективных систем хранения водородной энергии в автомобилях. У водорода очень низкая плотность, поэтому транспортному средству, работающему на водороде, потребуется накопительное устройство, которое будет примерно в 4 раза больше чем у бензинового автомобиля.

Для решения этой проблемы было изучено несколько способов хранения, включая сжатый газ, криогенные резервуары, металлические гибриды, углеродные нанотрубки и другие. По-прежнему необходимы дальнейшие исследования для разработки экономичного и эффективного решения для хранения водородной энергии в транспортных средствах.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Хайруллина А.М., Маслов И.Н. Применение альтернативных видов топлива в энергетике // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Белгород, 2023. С. 139-141.

2. Сарбаева Я.И. Внедрение альтернативных видов топлива, как фактор, повышающий экологическую безопасность в топливно-энергетическом // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Сборник докладов. Белгород, 2023. С. 116-120.

3. Ханов Н.Т., Абдуллина А.А. Новые возобновляемые источники энергии // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и

цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 804-806.

4. Иксанов Ф.Ф., Маслова Г.Д. Перспективы водородного топлива для использования на электрических станциях // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Сборник докладов. Белгород, 2023. С. 123-127.

*УДК 621.79*

*Савенкова А.Ю., Медведев А.И.*

*Научный руководитель: Архипова Н.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ**

В авангарде современного машиностроения, поверхностная пластическая обработка деформацией (ПОДД) выступает в качестве мощного инструмента для преобразования поверхностных свойств механических компонентов. Эта техника позволяет посредством контролируемых механических воздействий на поверхности деталей машин существенно улучшать их эксплуатационные характеристики.

ПОДД успешно применяется для:

- Значительного уменьшения шероховатости поверхности;
- Увеличения устойчивости к износу и усталости;
- Повышения коррозионной стойкости;
- Улучшения сопротивления контактной усталости.

Благодаря этим усовершенствованным свойствам обработанные ПОДД детали демонстрируют превосходную производительность и долговечность в различных областях применения [1].

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) - передовая технология обработки материалов, предусматривающая нетрадиционное формирование поверхностных слоев изделий без отделения стружки.

В процессе ППД действует инструмент, обладающий специальными деформирующими элементами конфигурации сферической, цилиндрической или иной геометрии. Элементы вступают в динамическое взаимодействие с обрабатываемой поверхностью по механизму качения, скольжения или внедрения, вызывая пластические изменения исключительно в поверхностной зоне

детали.

Среди технологий пластического упрочнения поверхности выделяются:

Поверхностное направляемое пластическое деформирование наклепа (ППД): направленное механическое воздействие на поверхность для создания наклепа и поверхностного упрочнения;

Химико-термическая обработка: сочетание термической и химической обработки;

Цементация: диффузионное насыщение поверхности углеродом для повышения твердости и износостойкости.

Нитроцементация: одновременное насыщение поверхности углеродом и азотом для повышения поверхностной твердости и прочности [2].

Азотирование: диффузионное насыщение поверхности азотом для повышения коррозионной стойкости и износостойкости.

Закалка с индукционным нагревом (ТВЧ): локальное высокочастотное нагревание поверхности с последующим быстрым охлаждением для создания закаленной структуры с повышенной твердостью и прочностью.

Лазерная закалка: обработка поверхности лазерным излучением, создающая узкую закаленную зону с высокой твердостью и стойкостью к износу.

Ультразвуковая обработка: применение ультразвуковых колебаний для поверхностного упрочнения, включая:

Ультразвуковое выглаживание: снижение поверхностной шероховатости и повышение коррозионной стойкости.

Ультразвуковая закалка: локальный нагрев и быстрое охлаждение под действием ультразвука.

ППД наиболее эффективно которой для упрочнения конструктивных двигателей концентраторов напряжений скольжения – галтелей, проточек значительному, шпоночных канавок алмазным шлифам, острых закалка кромок и фасок поверхность отверстий.

Инновационная обработка пластическим поверхностным деформированием (ППД) демонстрирует высокую эффективность при самостоятельном применении и в комбинации с другими методами, такими как индукционная закалка и обработка ХТО (химико-термическая обработка) [3].

После фасонной цементации целесообразно сочетать ППД с шлифованием алмазными роликами. Эта операция устраняет наклеп и обезуглероженный слой, возникающие в результате обработки, снижая тем самым уровень напряжений сжатия в поверхностном слое.

Для компенсации уменьшения прочности, которое может наблюдаться после шлифования, применяется последующий этап ППД. В результате такой комбинированной обработки обеспечивается оптимальный баланс между прочностью и долговечностью детали.

При поверхностном упрочнении за счет химико-термической обработки необходимо создавать слой, глубина которого  $h_{сж}$  превышает глубину концентратора напряжений в детали ( $h_{конц}$ ). Только в этом случае влияние концентратора напряжений как бы исключается, т.к. трещина усталости зарождается внутри детали.

Значительное повышение предела выносливости происходит в результате азотирования сталей.

При использовании дробеструйной обработки поверхностей (ППД) превышение деформационного упрочнения поверхностного слоя, возникновение в нем сжимающих остаточных напряжений, сглаживание неровностей и улучшение их профиля приводит к повышению прочности деталей с отверстиями, подвергаемых скольжению и циклическим нагрузкам. В результате ППД увеличивается предел прочности двигателей в 1,5–2,5 раза, а их долговечность возрастает в 5–10 раз и более. Данный метод отличается оригинальностью благодаря уникальному сочетанию механического и термического упрочнения, что позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики деталей двигателей [4].

Способами ППД являются:

Дробеструйная обработка роликами: при дробеструйной обработке роликами происходит ускорение абразивных частиц мощным потоком жидкости или газа, что превосходит давление в отверстии генерирующей среды.

Обкатка роликами и шариками: обкатка роликами и шариками представляет собой технологическую операцию, при которой свободно вращающийся ролик или шарик устраняет микронеровности на поверхности детали за счет удаления выступов. Это выравнивает структурную неоднородность поверхностного слоя, улучшая его свойства: повышает износостойкость на 50-100%, а также усталостную прочность.

Упрочнение поверхности: поверхностное упрочнение деталей путем одновременной дробеструйной обработки и обкатки широко применяется на ремонтных предприятиях из-за значительного увеличения предела усталости компонентов и низкой стоимости процесса.

Дорнование: дорнование - это технологическая операция, при которой через отверстие протягивается или продавливается дорн

(сверло увеличенного диаметра) с диаметром, незначительно меньшим, чем диаметр самого отверстия.

Чеканка: чеканка - это технологическая операция, основанная на ударном воздействии на упрочняемую поверхность с помощью пневматических чеканочных приспособлений (похожих на пневматические молотки) с вибрирующим бойком-роликом. Чеканка используется для локального укрепления участков поверхности с повышенной концентрацией напряжений (например, галтелей, мест выхода отверстий, шлицев) [5].

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Архипова, Н.А. Блинова Т.А. Специальные методы обработки поверхностей. Технологии и оборудование. Белгород: издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. 270 с.

2. Архипова, Н.А. Блинова Т.А. Электрохимические и электрофизические методы обработки поверхностей. Белгород: издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 305 с.

3. Архипова, Н. А., Дуюн, Т. А., Гринек, А. В. Методы механической обработки. Белгород: издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. 184 с.

4. Бобровский, Н. М. Инновационные технологии механической обработки деталей машин поверхностно-пластическим деформированием. Томск: Издательство ТГУ, 2013. 80 с.

5. Смолянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. Москва: Машиностроение, 2002. 300 с.

**УДК 62–2**

*Усачев О.В.<sup>1</sup>, Сулейманов Р.Р.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

### **МЕТАЛЛОПОЛИМЕРЫ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА СЛАБОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Металлополимеры, представляют собой уникальный класс материалов, которые сочетают в себе преимущества как металлических, так и полимерных компонентов. Они состоят из металлической сетки или частиц, заключенной в полимерную матрицу. Благодаря этому

сочетанию свойств металлополимеры могут быть использованы в различных отраслях промышленности, включая производство машин и оборудования.

В конкретном случае использование металлополимеров в качестве материала для слабонагруженных деталей машин является особенно перспективным. Это связано с их низкой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошей электрической и тепловой проводимостью, а также умеренной стоимостью производства. Кроме того, металлополимеры обладают высокой пластичностью и способны воспринимать значительные деформации без разрушения, что делает их идеальными кандидатами для применения в условиях циклических нагрузок.

Слабонагруженные детали машин — это элементы конструкции, которые испытывают небольшие нагрузки в процессе работы механизма. Такие детали обычно не подвергаются значительным напряжениям и могут быть выполнены из менее прочных материалов.

В настоящее время в производстве есть проблема в ремонте и производстве слабонагруженных деталей машин. При выходе из строя той или иной детали производится замена ее на новую, что не целесообразно. Слабонагруженным деталям можно дать вторую жизнь. Выполнить эту идею позволит материал металлополимер.

Металлополимер-это пастообразный состав, представляющий собой смесь наполнителя и связующего. Претерпевая процесс холодного отвердевания, получается заготовка для дальнейшей механической обработки. Данный материал позволяет соединять различные материалы такие как: бронза, сталь, твердые сплавы, алюминий, латунь, и медь, стекло и керамику, твердые пластмассы

Основное использование металлополимеров в машиностроение является в качестве:

- Клеев при сборке узлов
- Паст для устранения браков путем заделки трещин, сколов
- Ремонтных изношенных слабонагруженных деталей машин
- Нанесение защитных покрытий на узлы работающие в условиях коррозии
- Изготовление заготовок для дальнейшей механической обработки

Основными преимуществами металлополимеров в машиностроение перед другими материалами и способами восстановления является:

- Восстановление деталей из разных материалов



- Уменьшение температурных напряжений после восстановления

- Позволяет производить ремонт на месте без разборки узлов
- Увеличение сроков службы слабагруженных деталей машин

Для проведения сравнения характеристик и свойств металлополимеров рассмотрим отечественный Leo и импортный Weicon. Для проведения анализа выделим такие марки металлополимеров, как “Weicon A”, “Сталь”, “Weicon C”, “Алюминий”.

Марка Металлополимер “Сталь” (Таблица 1) является продуктом компании Leo используется для ремонта различного машиностроительного оборудования: шпоночных пазов, шеек валов, заделок литевых браков. С помощью данного материала производится наращивание материала для дальнейшей механической обработки.

Таблица 1– Физико-механические и технологические характеристики марки металлополимера “Сталь”

Характеристики	Активатор	
	Красный	Желтый
Удельная масса композиции, г/см <sup>3</sup>	2,4	2,55
Жизнеспособность приготовленной композиции, мин (при 18°C ... 20°C)	20	45
Температуростойкость, (по Вика ГОСТ 15088)	280	300
Рабочая температура	От -120 до +120	От -120 до +170
Время отвердевания, час (при 20°C) До возможности мехобработки Полная прочность	3...3,5 24	3,5...4 24
Твердость по Бринеллю, Мпа (по ГОСТ 4670)	235	240
Предел прочности, Мпа: При сжатии (по ГОСТ 4651) При изгибе (по ГОСТ 4648) При нормальном отрыве (по ОСТ 921476–78)	175 74	185 76
От стали	45	45
От алюминия	44	45
От латуни	43	44

Марка металлополимера “Weicon A” (Таблица 2) продукт компании Weicon. Основной наполнитель сталь. Используется для ремонта на производстве различных слабагруженных деталей машин.

Таблица 2– Физико-механические и технологические характеристики марки металлополимера “Weicon A”

Удельная плотность смеси	2.9 г/см <sup>2</sup>
Вязкость смеси	1.000.000 мПа*с
Ручная прочность	16ч
Окончательное отвердевание через	24 ч
Среднее прочность на сжатие +25 °С DIN 53281-83	90 МПа
Средняя прочность на разрыв +25 °С DIN 53281-83	21 МПа
Средняя прочность на изгиб +25 °С DIN 53281-83	34 МПа
Модуль Юнга +25 °С DIN 53281-83	3.000–5.000 МПа
Твердость по Шору, шкала D +25 °С DIN 53281-83	90
Устойчивость формы до	+65°С

Марка Металлополимер “Алюминий” (Таблица 3) является продуктом компании Leo. Основной наполнитель Алюминий. Используется для ремонта деталей, которым требуется дальнейшая механическая обработка.

Таблица 3– Физико-механические и технологические характеристики марки металлополимера “Алюминий”

Характеристики	Активатор	
	Красный	Желтый
Удельная масса композиции, г/см <sup>3</sup>	1.8	1.85
Жизнеспособность приготовленной композиции, мин (при 18°С ...20°С)	20	45
Температуростойкость, (по Вика ГОСТ 15088)	280	300
Рабочая температура	От -120 до +120	От -120 до +170
Время отвердевания, час (при 20°С) До возможности мех обработки Полная прочность	3...3,5 24	3...3,5 24
Твердость по Бринеллю, Мпа (по ГОСТ 4670)	210	215
Предел прочности, Мпа: При сжатии ( по ГОСТ 4651) При изгибе (по ГОСТ 4648) При нормальном отрыве ( по ОСТ 921476-78) От стали От алюминия От латуни	160 69 42 42 40	160 69 42 42 40

Марка металлополимера “Weicon C” (Таблица 4) продукт компании Weicon. Основной наполнитель Алюминий. Устойчив к высоким температурам используется в качестве материала для форм в литье.

Таблица 4 – Физико-механические и технологические характеристики марки металлополимера “Weicon C”

Удельная плотность смеси	1.62 г/см <sup>2</sup>
Вязкость смеси	25.000 мПа*с
Ручная прочность	24ч
Окончательное отвердевание через	48 ч
Среднее прочность на сжатие +25 °C DIN 53281-83	140 МПа
Средняя прочность на разрыв +25 °C DIN 53281-83	25 МПа
Средняя прочность на изгиб +25 °C DIN 53281-83	77 МПа
Модуль Юнга +25 °C DIN 53281-83	5.800–6.000 МПа
Твердость по Шору, шкала D +25 °C DIN 53281-83	90
Устойчивость формы до	+130°C

**Структура металлополимеров:** металлополимеры состоят из двух основных компонентов наполнителя и активатора.

Связующим наполнителя выступают модифицированные полиэфиров и эпоксидные смолы. Наполнитель представляет собой металлы такие как сталь, бронза, алюминий, титан в виде мелкодисперсной пудры. Для улучшения характеристик металлополимеров используют минеральные наполнители такие как керамика, кварц, что позволяет улучшить характеристики материала, а именно устойчивость к эрозии и истиранию.

При смешивании активатора с наполнителем происходит процесс полимеризации. Первоначально материал имеет жизнеспособность за это время материал нужно нанести на ремонтируемую поверхность либо залить в нужную форму. После холодного отвердевания получаем твердый композит, который можно подвергать механической обработки.

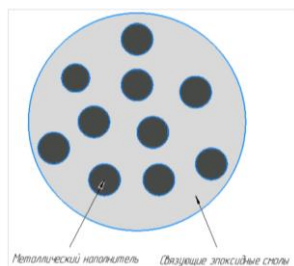


Рис.1. Структура металлополимера

**Нагрузки на детали машин:** слабонагруженными деталями машин являются такие детали, на которые действуют малые нагрузки.

Разрушение деталей машин происходит в местах большой концентрации напряжений из-за чего происходят трещины, а в следствии и надлом. Также причиной преждевременного выхода из строя детали может стать износ, вибрация, коррозия.

Основными нагрузками на детали машин является статически и динамические. Статические нагрузки протекают с постоянным местом и направлением приложения к телу не изменяющейся нагрузки со временем (сила тяжести). Динамические нагрузки протекают с постоянным изменением места и направления приложения изменяющейся со временем нагрузки.

При выходе из строя слабонагруженные детали машин более рационально произвести ремонт на месте не разбирая конструкции, что позволяет уменьшить затрачиваемые усилия.

Таким образом, уверенность в том, что металлополимеры являются эффективным и перспективным материалом для создания слабонагруженных деталей машин, только укрепляется после рассмотрения всех их характеристик и преимуществ. В будущем их применение, скорее всего, будет только расширяться, открывая новые горизонты в инженерных разработках и способствуя совершенствованию технологий производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Першин Н.С., Чепчуров М.С. Изготовление формообразующих деталей пресс-форм из композиционных материалов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 6. С. 76-81.

2. Любимый, Н. С., Чепчуров М.С., Костоев З.М. Исследование процессов получения комбинированных металл-металлополимерных формообразующих деталей пресс-форм заданного качества с применением аддитивных технологий : — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. — 141 с.

3. Любимый Н.С., Чепчуров М.С. Влияние применения вакуумирования при отверждении металлополимера на его теплопроводность / Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика: сборник трудов всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов // Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С 7-14.

4. Чепчуров М.С., Польшин А.А., Любимый Н.С., Герасимов М.Д. Исследование влияния наложения высокочастотных колебаний при отверждении металлополимера на его структуру // Справочник. Инженерный журнал. 2024. № 1 (322). С. 3-9 с.

5. Кравченко И.Н., Шамарин Ю.А., Глинский М.А., Чеха Т.А. Применение металлополимерных покрытий с использованием фторопласта и сверхвысокомолекулярного полиэтилена для повышения надежности и долговечности подшипников скольжения // ТЕХНИКА И ОБОРУД. ДЛЯ СЕЛА. -2018.-N 11.-С. 29-32 с.

6. Тищенко М.Ю., Фёдоров С.С., Зайдес С.А. Контроль качества ремонтных участков восстановленных металлополимерами холодного отверждения // Инновации и инвестиции. 2013. № 7. С. 246-250 с.

7. Любимый Н.С., Польшин А.А., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Рязанцев В.Г., Четвериков Б.С., Анциферов С.И., Романович А.А. Расчетное обоснование применения композитных металл-металлополимерных деталей при производстве функциональных конструкций // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2022. № 5. С. 22-27.

#### УДК 62-8/-98

*Чув К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р. техн. наук., проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

### **МНОГОСТАДИЙНЫЙ ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Проблема утилизации шин – это актуальная проблема современного общества. Каждый год в мире производится огромное количество автомобильных шин, которые после их износа становятся необходимо утилизировать. Однако только часть отечественных предприятий имеет лицензию на утилизацию шин, и далеко не все из них следуют правилам безопасной утилизации. Поэтому часто шины выбрасываются на свалки или сжигаются, что наносит большой вред окружающей среде.

При утилизации изношенных шин посредством переработки в большинстве случаев, используется многостадийный технологический процесс [1, 2]. На первых стадиях процесса получается промежуточный

продукт, который в дальнейшем доводят до состояния необходимого сырья.

Необходимое оборудование для предварительной обработки можно отнести устройства для разрезания шины на части и извлечения бортового металлического кольца [3].

Наиболее распространёнными способами предварительной разделки шины являются устройства по разрезанию шин на полосы и кольца [4, 5] или на сегменты [6, 7].

Принцип устройств для нарезания шин на полосы или кольца [4] состоит в следующем. Утилизируемую шину надевают на оправку, прижимают, подводя режущий инструмент нарезают продольные кольца. В дальнейшем резино-ткане-металлические кольца поступают на дальнейшую переработку другим оборудованием в мелкодисперсный материал.

Недостатками такого метода является длительное время настройки оборудования, заточка инструмента, что приводит к простоям и уменьшению количества получаемого продукта. Также к недостаткам такого метода можно отнести небольшой типоразмер обрабатываемых покрышек на данном устройстве.

К устройствам для нарезания шин на ленты можно отнести оборудование, представленное в способе переработке изношенных шин в дисперсный материал (Рис.1) [5]. Разделку покрышки осуществляют при помощи двух вращающихся элементов: диска с затупленной конической режущей кромкой и опорного колеса с канавкой. Разрываемая шина поступает в канавку опорного колеса при помощи рисок, находящихся на конических кромках. Разделка на части происходит путем разрыва при погружении изношенной шины в канавку и достижении необходимого давления, которое создается надавливанием дискового вращающегося элемента на поверхность покрышки. Затем полученные путем разрыва части подают на дальнейшую обработку.



Рис.1. Оборудование для нарезания утилизируемых шин на ленты

К недостатку данного способа разделки шин можно отнести значительные габариты устройства. Они обусловлены переработкой толстопрофильной части протектора требуются, которая в свою очередь требует двигатель большей мощности с большими энергозатратами, что является энергозатратным. Также следует отметить, что усилие, необходимое на разрывание резино-ткане-металлического участка, превосходит усилие, которое требуется приложить к разрезанию такого же участка.

В большинстве линий по утилизации РТИ для предварительной переработки используется оборудование по разрезанию шины на сегменты или части (Рис.2). Таким устройством являются «Ножницы гидравлические для резки шин» [6]. Принцип работы такого оборудования достаточно прост: покрышка располагается в рабочей зоне гидравлических ножниц, посредством нагнетания масла в гидроцилиндре нож опускается в проём рабочего пространства, разрезая покрышку. Данное устройство с технологической точки зрения является достаточно простым, но имеет ряд недостатков: непригодность для использования при разрезании большемерных шин, потеря цельности и жесткости шины после вырезки первых секторов. В связи с этим возникают трудности позирования и закрепления шины при последующей резке.



Рис. 2. Оборудование для разрезания шин на сегменты.

Для разделки крупных шин на сегменты известна «Установка для резки крупногабаритной и сверхкрупногабаритной шины»[7] (Рис.3). В ней разрезаемая шина крепится за внутренний обод на площадке для укладки шины, имеющей возможность линейного перемещения в зону резания. Процесс разрезания шины аналогичен процессу, описанному ранее.



Рис. 3. Оборудование для разделки крупногабаритных шин на сегменты.

Также для измельчения цельных колес легковых автомобилей используется барабанная дробилка (Рис.4) [8]. При помощи ножей, которые закреплены на валах, можно разрезать покрышку на чипсы, проходя через режущую группу. Измельченные шины, проходя через вращающийся барабан-просеиватель. Разноразмерные чипсы попадают на конвейер для дальнейшей переработки в зависимости от отверстий в сетке просеивателя. Крупные фрагменты возвращаются на повторное дробление. Перед измельчением покрышки удаляется толстая бортовая проволока, чтобы предотвратить поломку ножей.





Рис. 4. Барабанная дробилка для переработки шин

Стоимость оборудования для разрезания легковых и грузовых шин диаметром до 24 дюймов на части варьируется от 500 до 900 тыс. р. в зависимости от мощности двигателя и новизны оборудования. Оборудование для разделки на части крупногабаритных шин достигает 5 – 9 млн. р. Такая высокая стоимость обусловлена тем, что помимо гидротножниц, также необходим манипулятор, который будет передвигать КГШ массой в 7т (данные на 01.05.2024г. согласно [9]).

Необходимо развивать технологии утилизации шин, что позволит не только уменьшить количество отходов, но и использовать их вторично в других сферах промышленности. Кроме того, важно повышать информированность населения об опасности неправильной утилизации шин и поощрять экологически чистые методы утилизации. Только тесное взаимодействие предприятий, государства и общественности поможет решить проблему утилизации шин и создать более безопасную и экологичную среду для всех нас.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко, В. М. Анализ основных технологических схем и линий по переработке и утилизации резинотехнических изделий / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозвой, Я. П. Топчий // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. Том Выпуск XX – С. 104-109.

2. Чуев, К. В. Основные виды утилизации резинотехнических изделий / К. В. Чуев, В. М. Кравченко, Э. А. Мутовалов // Образование.

Наука. Производство : Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 49-52.

3. Дуганов, В. Я. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин / В. Я. Дуганов, Т. А. Дуюн, К. В. Чуев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 103-112.

4. Пат. 57669 U1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Станок для резки шины / В. Я. Фольмер. – Оpubл. 27.10.2006

5. Пат. 2608893 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ переработки изношенных шин в дисперсный материал / М. Е. Соловьев, Е. М. Соловьев. – Оpubл. 26.01.2017

6. Пат. 213116 U1 Российская Федерация, МПК В26D 1/01. Ножницы гидравлические для резки шин. / М. В. Швецов, В. Ф. Ситников, А. В. Егшин, Б. Ф. Чернов, М. И. Самохвалова. – Оpubл. 25.08.2022

7. Пат. 107491 U1 Российская Федерация, МПК В02С 18/00 Установка для резки крупногабаритной и сверхкрупногабаритной шины / Е. Д. Филиппов. – Оpubл. 20.08.2011

8. Пат. 2429122 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ разделки автомобильных и тракторных шин /А. В. Куликов – Оpubл. 20.09.2011

*УДК 62-8/-98*

*Чуев К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ ШИН**

Механическое измельчение является неотъемлемой составляющей процесса переработки материалов в современной промышленности. С его помощью сырье превращается в более мелкие части, что делает возможным создание широкого спектра продукции — от продовольственных товаров до строительных материалов. В данной статье мы рассмотрим основные способы механического измельчения,

а также современное оборудование, которое помогает сделать этот процесс более эффективным и инновационным.

Основными методами утилизации и переработки изношенных шин являются: физико-механические и термические. В число физико-механических методов входят дробление шин, их восстановление для использования в будущем, дробление взрывом и бародеструкция. Термические методы включают сжигание шин, газификацию, и пиролиз.

При восстановлении шины, можно использовать уже существующие материалы и не создавать новые отходы. Это является наиболее экологичным способом переработки шины. Восстановление поврежденной шины обходится значительно дешевле, чем приобретение новой. Однако, в случае восстановления шины ее первоначальная прочность будет утрачена, что увеличит срок ее эксплуатации. В случае восстановления шины, возможно произвести замену как протектора, так и боковины шины. Но в любом случае при достижении шины неисправимого износа её придётся утилизировать одним из предложенным ниже способов [1]

Метод дробления шин взрывом заключается в загрузке определенного количества шин (до 500 кг) в емкость, которая затем охлаждается до температуры  $-60^{\circ}\text{C}$ . После этого шины помещаются в специальную камеру с взрывчаткой, где происходит детонация, и хрупкая охлажденная резина разрушается на мелкие частицы [2].

Ещё один метод переработки резины является метод бародеструкции. Он представляет собой процесс "псевдосжигания" резины при высоком давлении, после чего происходит ее вытекание через специальные отверстия. Этот процесс приводит к тому что резина отделяется от корда и дробится, превращаясь в крошку. Для того чтобы это произошло, необходимо её измельчить в крошку и отделить. В результате получается резиновая крошка диаметром до 0,8 мм, содержащая металлический корд [3].

Кроме того, существует ещё один метод утилизации РТИ, который заключается в использовании шин в качестве топлива для цементных заводов и теплоэлектроцентралей. Сжигание шин при производстве цемента ограничено из-за образования большого количества загрязняющих газов, таких как углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), серосодержащие соединения, копоть и канцерогенные вещества, что требует значительных затрат на очистку выбросов и утилизацию вредных примесей [4]. Помимо этого, при использовании шин в качестве топлива для ТЭЦ они имеют довольно низкий КПД [5].

Один из способов утилизации РТИ включает в себя процесс

газификации, в результате которого водород и углерод из исходного материала превращаются из твердой формы в газообразное состояние в виде оксида углерода (CO) и молекулярного водорода (H<sub>2</sub>). Этот газ является ценным химическим сырьем, которое широко используется для органического синтеза [6].

При проведении пиролиза резины при высоких температурах без доступа кислорода, получают жидкие продукты и смолы. Вместо целых шин для этого процесса используют резиновую крошку и резиновые чипсы. Преимуществом данного метода утилизации старых автомобильных покрышек является его экологическая безопасность. В получаемых продуктах содержание токсичных веществ, таких как диоксид серы, оксид азота и оксид углерода, минимально. Недостатками этого метода являются высокая стоимость оборудования, требующего применения жаростойких и прочных материалов, и необходимость высококвалифицированного персонала для обслуживания [7, 8, 9,10].

Самым популярным методом переработки шин является физическое измельчение, такой вид утилизации отходов резины признается самым простым и рациональным способом переработки, поскольку позволяет максимально сохранить физико-механические и химические свойства материала. Итоговым продуктом измельчения является резиновая крошка нейлоновая тканевая масса и металлическая составляющая.

Основной принцип переработки покрышек механическим способом, описан в [11]. Бортовые кольца из боковых частей выдергивают на специализированном оборудовании (Рис.1). Далее оставшуюся резино-металло-тканевую массу отправляют на стадию измельчения.



Рис.1. Специализированное оборудование для выдергивание бортовых колец шин.

Чаще всего на производстве по переработке РТИ используются измельчители горизонтальной и вертикальной конструкции (шредеры). (Рис.2). Главным действующем движением является вращательное движение инструмента в вертикальной или горизонтальной плоскости.

Для достижения необходимого размера резиновой гранулы необходимо применение многостадийных схем в виде каскада измельчителей различного типоразмера, конвейеров и сепараторов. Но существуют измельчители, которые комбинируют несколько стадий.

К такому оборудованию можно отнести двухстадийный измельчитель [14,15], в которой измельчение происходит в два этапа: грубый помол и тонкий помол. На этапе грубого помола в рабочую камеру подаются предварительно разделанные резиновые чипсы, в которой происходит разрыв и резание материала двумя горизонтально расположенными ножами. Далее измельченные частицы попадают на этап тонкого помола, в котором происходит раздавливание, разрезание и разрыв частиц резины до необходимой фракции вращением конического зубчатого вала.

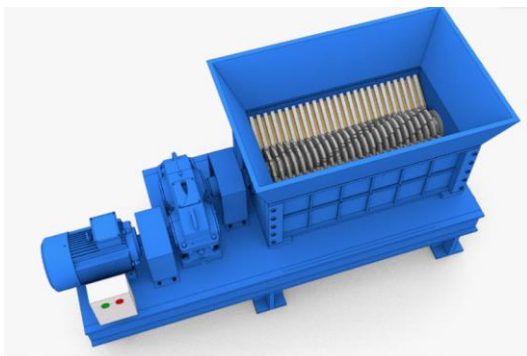


Рис.2. Измельчитель горизонтальной конструкции (шредер)

В заключение можно сказать, что механическое измельчение шин является эффективным способом утилизации данного вида отходов. Этот процесс позволяет получить гранулированный материал, который может быть использован в качестве альтернативного сырья для производства новых продуктов. Благодаря использованию механического измельчения, можно уменьшить количество отходов, снизить негативное воздействие на окружающую среду и сэкономить природные ресурсы. Таким образом, утилизация шин с помощью механического измельчения является важным этапом в работе по повышению экологической ответственности и устойчивого развития.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скорняков, Э. С. Эксплуатация и ремонт крупногабаритных шин / Э. С. Скорняков, Э. Н. Кваша, А. А. Хоменя, В. П. Бойков. – Москва : Химия, 1991. – 128 с. – ISBN 5-7245-0452-9. – EDN H1ZQBM.
2. Бондаренко, Е.В. Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин / Е.В. Бондаренко, В.П. Клищенко, А.П. Пославский, В.В. Сорокин // Мир Транспорта и технологических машин, 2011 с. 47-52.
3. Чернышев, Д. О. Технологическая переработка старых шин автомобилей - решение экологических проблем // Наука, техника и образование. 2019. №3 (56).
4. Тарасова, Т.Ф. Экологическое значение и решение проблем переработки изношенных автошин / Т.Ф. Тарасова, Д.И. Чапалда // Вестник ОГУ №2 2006, том 2, с. 130-135.
5. Валуев, Д. В. Перспективы переработки автомобильных покрышек / Д. В. Валуев, О. Р. Ананьева // Векторы благополучия:

экономика и социум. 2011. №1 (1).

6. Кузнецова, В.А Газификация отработанных автомобильных шин воздушной и паровой плазмой / В.А. Кузнецова, Ф.Г. Рутберг, А.Н. Братцев, В.Е. Попов, А.А. Уфимцев, С.В. Штенгель, А.С. Лернер, Д.И. Субботин // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2011. №2, с. 46-50.

7. Яцун, А.В. Жидкие продукты пиролиза отработанных автомобильных шин под воздействием СВЧ / А.В. Яцун, П.Н. Коновалов, Н.П. Коновалов // Химия твердого топлива, 2013, №4, с. 60-62.

8. Яцун, А.В. СВЧ-Пиролиз изношенных автомобильных шин в присутствии гидроксида калия / А.В. Яцун, П.Н. Коновалов, Н.П. Коновалов // Современный наукоемкие технологии, 2017, с. 83-87.

9. Булавин, О.В. Применение низкотемпературного пиролиза для переработки автомобильных шин / О.В. Булавин, В.М. Пашкевич // Экологические проблемы промышленных мегаполисов: Материалы международной научно-практической конференции. В 2-х томах. – Т.2.–Донецк: ООО, «Лебедь», 2004.– С.103-108.

10. А.В. Макаров Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ, 2008, с. 247-258.

11 Дуганов, В. Я. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин / В. Я. Дуганов, Т. А. Дуюн, К. В. Чуев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 103-112. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-11-103-112. – EDN RBILLM.

12. Пат. 2375177 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ переработки покрышек, подлежащих утилизации / А. А. Вещев, А. В. Васильев, И. Ю. Труфанов. – Оpubл. 10.12.2009

13. Пат. 2504469 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ и устройство для переработки изношенных покрышек методом деструкции / А. А. Вещев, А. Е. Соколов, К. Г. Пеньков, Р. П. Литвинов. - Оpubл. 20.01.2014

14. Пат. 203639 U1 Российская Федерация, МПК В02С 4/00. Двухстадийный измельчитель / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозовой, А. В. Тулина – Оpubл. 14.04.2021 Бюл. №11

15. Кравченко, В. М. Анализ основных технологических схем и линий по переработке и утилизации резинотехнических изделий / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозовой, Я. П. Топчий // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей. – Белгород: Белгородский государственный технологический

университет им. В.Г. Шухова, 2021. Том Выпуск XX – С. 104-109.

**УДК 62-8/-98**

**Чув К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>**

**Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.**

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**

С второй половины 19 века и начало 20 века произошла вторая промышленная революция. На фабриках начали переходить от машинного к автоматизированному производству, что существенно повысило количество производимого продукта. Стремительное развитие производства привело к тому, что теперь сложно представить жизнь человека без машин. В настоящее время значительное количество индивидуумов обладает собственным транспортным средством, в то время как предприятия используют специализированный автотранспорт. Эти факторы существенно упростили повседневную жизнь людей. Тем не менее, многие из них не осознают, что данный научно-технический прогресс порождает новые проблемы для человечества. Одной из основных проблем, которую стоит отметить, является проблема утилизации шин. Оставленные в окружающей среде шины представляют экологическую угрозу, имея срок разложения более ста лет.

Шины являются по своему назначению расходным материалом, который очень быстро подвергается утилизации образуя большие кучи слабо разлагаемых отходов [1,2] (рис 1.).





Рис. 1. Отходы шин.

Можно выделить две основные классификации автошин (рис 2):

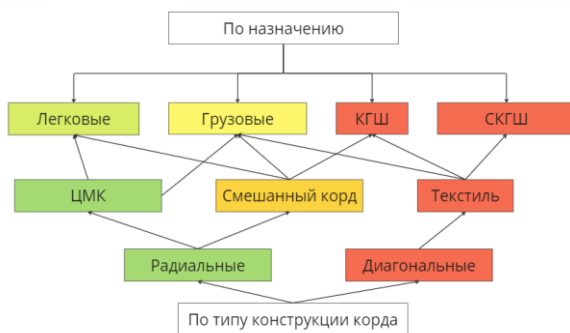


Рис. 2. Классификация шин по назначению и конструкции корда.

*По назначению* шины делятся на легковые, грузовые и крупногабаритные (КГШ) шины.

На легковых автомобилях используется легковые шины они достигают 500 мм в диаметре и 10 кг по массе. В основном в состав шины входит техническая резина, текстиль и преимущественно металл. Основное преимущество в утилизации они просты в переработке, так как диаметр проволоки бортового кольца не превышает 8-10 мм.

На автобусах, прицепах, спецтехнике, грузовиках эксплуатируются грузовые шины. Диаметр таких шин достигает до 1200 мм и массы до 70 кг. Конструкция таких шин более специфична и сложна в зависимости от условий эксплуатации могут иметь цельнометаллический, тканевый или смешанный тип корда.

На специальной горной технике применяют крупногабаритные

шины, которые имеют диаметр более 1200 мм и массу до 5000 кг. Такие шины требуют дополнительного оборудования для переработки. В составе шин используется преимущественно искусственный каучук для облегчения конструкции. По той причине, что в КГШ большие габариты и массы стараются исключить металлические включения в состав шин.

По расположению корда наибольшее распространение получили радиальные и диагональные шины, по типу конструкции корда – цельнометаллические, тканевые и смешанные.

Массовым типом шин являются радиальный. Как правило они используются на легковых и грузовых машинах. Грузовой радиальный тип шин делится на цельнометаллический тип корда и смешанный - текстиль с металлом. Легковые шины благодаря габаритным показателям имеют в преимуществе смешанный тип корда с большим содержанием металла.

Диагональные шины по своим конструкционным показателям используются в грузовых и КГШ. Из-за своих габаритов в преимуществе состав текстильный.

Шины в зависимости от назначения содержат 5 основных компонентов [3]:

- резиновая составляющая — вулканизированная оболочка, имеющая сложную химическую структуру;
- чёрный металл в виде бортовых колец, тонкой проволоки армирования;
- цветной металл - алюминиевые и латунные шипы;
- синтетические текстильные нитки армирования;
- прочие составляющие - например, клей.

Утилизация отработанных автомобильных шин и покрышек теперь в обязательном порядке производится в специализированных пунктах приема для дальнейшей их переработки, согласно распоряжению Правительства Российской Федерации № 1589-р от 25.07.2017» [4], в котором утвержден «Перечень запрещенных к захоронению видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты». За несоблюдение этого запрета законодательство предусматривает административную ответственность.

В основном для измельчения легковых шин и некоторых грузовых с цельнометаллическим кордом процесс протекает в два этапа. На первых этапах использованные покрышки предварительно нарезаются на структурированные части (чипсы или ленты). После чего транспортируются к оборудованию для следующего этапа измельчения.

Второй этап дробление резиновых чипсов или лент в более мелкие гранулы. На протяжении всего процесса дробления происходит процесс сепарации (разделения) на две отдельные фракции на металлическую проволоку и резиновые гранулы [5].

В шинах крупного типоразмера, в которых содержится текстильные нити, для механического измельчения помимо вышеизложенной технологии, необходимо вытянуть проволоку из бортового кольца при помощи специального оборудования, а также отделить текстильную массу от резины и металла. На выходе получается 3 отдельные фракции: металл, резина и текстиль [6].

Процесс механической переработки шин в крошку представляет собой один из наиболее простых и экономически выгодных методов. Однако одной из основных проблем данного процесса является нехватка места для хранения полученной крошки в больших объемах. Более того, резиновая крошка, произведенная из использованных шин, может выделять токсины при нагревании на солнце.

Для утилизации резиновой крошки были найдены применения в качестве покрытия для детских площадок и добавления в дорожные материалы. Однако такое использование крошки не приносит значительных преимуществ в плане сцепления или прочности материала.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов : учебник [Текст] / Б. Б. Бобович. - Гриф МО. - Москва : СП Интернет Инжиниринг, 1999. - 445 с. : ил. - Библиогр.: с. 437-445. - ISBN 5-89594-018-8.

2. Кравченко, В. М. Анализ основных технологических схем и линий по переработке и утилизации резинотехнических изделий / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозвой, Я. П. Топчий // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. Том Выпуск XX – С. 104-109.

3. Шаховец, С. Е. О состоянии макромолекулярной структуры протекторных резин в течение эксплуатации и переработки шин / С. Е. Шаховец, С. К. Курлянд, Н. В. Сиротинкин, Е. А. Рюткянен // Известия СПбГТИ (ТУ). 2019. №51 (77).

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1589-р от 25.07.2017

5. Вольфсон, С. И. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / Вольфсон С. И., Фафурина Е. А., Фафурин А. В. Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №1.

6. Дуганов, В. Я. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин / В. Я. Дуганов, Т. А. Дуюн, К. В. Чуев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 103-112. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-11-103-112. – EDN RBILLM.

*УДК 62-8/-98*

*Чуев К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Резинотехнические изделия широко используются во многих отраслях промышленности, таких как автомобилестроение, строительство, машиностроение и другие. Однако, когда эти изделия достигают конца своего срока службы или становятся бракованными, они должны быть утилизированы эффективным и безопасным способом. Одним из методов утилизации является измельчение, которое позволяет переработать использованные резиновые изделия во вторичное сырье, пригодное для производства новых продуктов.

Многостадийный процесс измельчения резинотехнических изделий представляет собой сложную технологию, которая включает несколько этапов обработки материала. Каждый этап имеет свои особенности и требует использования специального оборудования. В данном тексте мы рассмотрим каждый этап этого процесса подробнее и поговорим о том, как он осуществляется на практике.

Многостадийный процесс измельчения резинотехнических изделий представляет собой сложную технологию, которая включает несколько этапов обработки материала. Каждый этап имеет свои особенности и требует использования специального оборудования. В данном тексте мы рассмотрим оборудование под каждый этап.

В процессе измельчения происходит разделение резинометаллического корда на мелкие части следующими способами:

1. Вращающиеся валки. Когда происходит переработка с использованием валков РТИ, они проходят через вращающиеся цилиндрические или конические валки. В результате этого происходит разрушение и отслоение металла от резиноканавной массы. Из этого устройства можно получить: крошкообразную резиновую массу, металллокорд и металлическое бортовое кольцо, которое содержит в себе остатки резины и текстиля. К таким способам относят «способ переработки покрышек, подлежащих утилизации» [1,2] и «способ и устройство для переработки изношенных покрышек методом деструкции» (Рис.1. ) [3].



Рис. 1. Оборудование для переработки изношенных покрышек с использованием валков.

2. Шредеры. Чаще всего на производстве по переработке РТИ используются измельчители горизонтальной и вертикальной конструкции (шредеры). Главным действующим движением является вращательное движение инструмента в вертикальной или горизонтальной плоскости (Рис.2.).



Рис. 2. Оборудование для переработки изношенных покрышек измельчением горизонтальной конструкции.

При необходимости добиться нужного размера резины, необходимо применение многоступенчатых схем: каскада измельчителей различного типа, конвейеров и сепараторов. Также существуют измельчители, которые могут сочетать несколько стадий.

К такому оборудованию можно отнести двухстадийный измельчитель [4], в котором дробление происходит в два этапа: грубый помол и тонкий помол. В процессе измельчения в рабочую камеру помещают предварительно подготовленные резиновые чипсы, которые затем разрываются и режутся двумя вертикально расположенными ножами. На следующем этапе измельченные частицы попадают на стадию тонкого помола, в процессе которого происходит дробление, разрезание и разрыв частиц резины до необходимой фракции. Это достигается вращением конического зубчатого вала.

К аналогичному оборудованию относится и шредер [5], в котором необходимый размер выходного материала регулируется секциями с разными конструктивными особенностями ножей, расположенными на горизонтальных валах оборудования.

3. Фрезерование резинового корда. Совершенно другой подход к измельчению изложен в устройстве для утилизации отработанных шин [6]. Комплект изношенных покрышек устанавливается в зажимное устройство с возможностью поворота вдоль оси колеса и вдоль оси конструкции для смены покрышки. Рабочим движением является вращение лезвийного инструмента (шарожки или фрезы), а движением подачи поступательное движение инструмента к зоне врезания.

**Заключение.** Таким образом, многостадийный процесс измельчения резинотехнических изделий представляет собой важную технологию в переработке использованных материалов. Различные методы, такие как вращающиеся валки, шредеры и фрезерование резинового корда, позволяют эффективно разрушать и обрабатывать резиновые изделия для получения вторичного сырья.

Использование специализированного оборудования на каждом этапе процесса позволяет достичь оптимального результата в утилизации резинотехнических изделий. Сочетание различных методов измельчения и составление многоступенчатых схем позволяет получать резиновую массу необходимой фракции для дальнейшего производства.

Кроме того, важно отметить, что утилизация резинотехнических изделий играет ключевую роль в снижении негативного воздействия на окружающую среду и экономии природных ресурсов. Правильное использование технологий переработки позволяет сократить количество отходов и создать возможность для повторного

использования материалов.

Таким образом, оборудование и методы измельчения резинотехнических изделий играют важную роль в экологически чистой переработке материалов и создании сырья для производства новых продуктов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2188125 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ переработки покрышек, подлежащих утилизации / Борисов Е.М., Китаров К.С., Антонов В.В., Кузьмин А.В., Борисов И.Е. – Оpubл. 27.08.2002
2. Пат. 2375177 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ переработки покрышек, подлежащих утилизации / А. А. Вещев, А. В. Васильев, И. Ю. Труфанов. – Оpubл. 10.12.2009
3. Пат. 2504469 С1 Российская Федерация, МПК В29В17/00. Способ и устройство для переработки изношенных покрышек методом деструкции / А. А. Вещев, А. Е. Соколов, К. Г. Пеньков, Р. П. Литвинов. - Оpubл. 20.01.2014
4. . Пат. 203639 U1 Российская Федерация, МПК В02С 4/00. Двухстадийный измельчитель / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозовой, А. В. Тулина – Оpubл. 14.04.2021 Бюл. №11
5. Пат. 2492927 С2 Российская Федерация, МПК В02С 4/30. Шредер / В. В. Смердов, М. В. Смердов – Оpubл. 20.09.2013 Бюл. №26
6. Пат. 104511 Российская Федерация, МПК В29В 17/00. Устройство для утилизации отработанных шин / М. Г. Гольдшмидт, Д. М. Козарь, А. Г. Темиров, З. М. Вендров – Оpubл. 20.05.11 Бюл. №14

УДК 62-8/-98

*Чув К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Автомобильный транспорт, в процессе своего развития, накапливает большое количество отходов, таких как изношенные шины и резинотехнические изделия (далее РТИ).

Использованные шины являются долговременным экологическим риском, так как не разлагаются более 100 лет и могут нанести вред окружающей среде на десятилетия вперед [1]. Изношенные шины и РТИ выбрасываются на свалки, где они занимают большие площади и становятся источником загрязнения почвы и воды. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) отработавшие шины относят к IV классу опасности (малоопасные отходы) [2], что означает низкую степень негативного воздействия на окружающую среду, время восстановления после ущерба не менее 3 лет.

Во время больших объемов погрузки и воздействия прямых солнечных лучей возможно возгорание шин, которые используются для утилизации. Из-за сжигания шин выделяется большое количество токсичных веществ, относящихся уже к I и II классам опасности (опасные отходы, которые могут причинить серьезный вред экологии).

Данные о количестве отходов шин, которые были накоплены в Российской Федерации на 2024 год не являются точными. Согласно данным Росстата за 2022 год, на каждые 1000 человек в России приходится 327 собственных автомобилей [3]. Исходя из того, что в России проживает 146,4 миллиона человек, можно предположить, что общее количество личных автомобилей в стране составляет 47,9 миллионов.

По данным статьи «Утилизация и переработка шин в крошку» Невядомской А. И. [4], количество отработанных шин на 2015г. достигает порядка 900 тыс. тонн в год (Рис. 1).

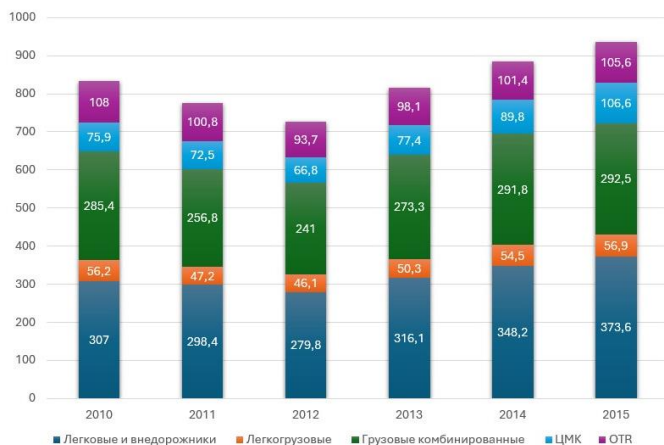


Рис. 1. Общий объем отработанных шин в РФ за 2010-2015 гг., тыс. тонн.



В Российской Федерации обращение с отходами, в том числе в области бывших в употреблении шин, регулируется рядом нормативно-правовых документов. В соответствии с Федеральным законом № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [5] Предпринимательство по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению отходов I-IV классов опасности подлежит лицензированию. Согласно данному закону, определены определенные требования к хранению отходов и лица, которые должны быть допущены к данной деятельности.

Отработанные автомобильные шины и покрышки в обязательном порядке должны сдаваться в специализированные пункты приема для дальнейшей их переработки, согласно распоряжению Правительства Российской Федерации № 1589-р от 25.07.2017» [6]. В документе утвержден «Перечень запрещенных к захоронению видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты». Согласно действующему законодательству, за его нарушение налагается административная ответственность. Нарушитель может заплатить штраф в размере от 2 тысяч до 250 тысяч рублей для физических лиц. Кроме того, ему грозит административное приостановление деятельности на срок до 90 суток по решению суда, если это будет зафиксировано в протоколе.

Среди всех способов переработки РТИ в крошку, именно механическая наиболее распространена среди предпринимателей [7]. Это обусловлено тем, что оборудование для переработки имеет большое разнообразие в разных ценовых категориях. Количество необходимого оборудования для переработки шины может изменяться в зависимости от состава, типоразмера и конструкции шины. Необходимое оборудование для измельчения РТИ представлено на рис. 2.

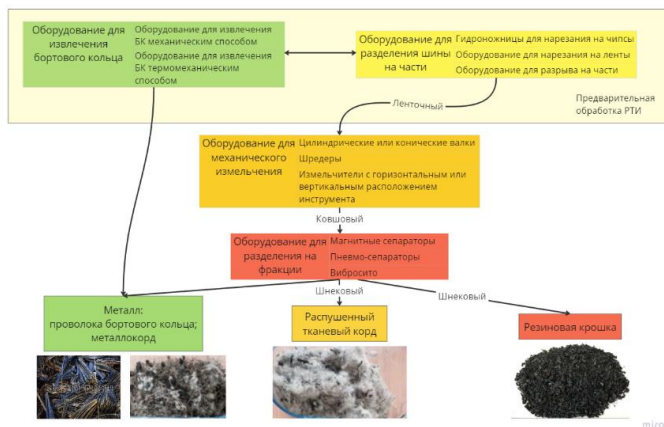


Рис. 2. Принципиальная схема переработки РТИ механическим способом с указанием необходимого оборудования.

В зависимости от типоразмера шины и её эксплуатационных характеристик содержание компонентов отличается [8]: чем крупнее шина, тем содержание металла в ней меньше, а резины и текстиля больше. Усредненные данные по составу шин представлены в таблице.

Таблица – Содержание материала в шинах разных типоразмерах, %

Материал	Легк.	Груз.	ЦМК		С/Х	Индустр.	КГШ
Металл	7	10	23		3	3	3
Резина	78	76	77		73	70	81
Текстиль	15	14	0		24	27	16

Практически все легковые и небольшие грузовые шины имеют цельнометаллический корд и бортовое кольцо площадь, которого в свою очередь равна диаметру кордной проволоки. Поэтому измельчение производится в один этап, при этом не требуется использование дополнительного оборудования для предварительной обработки шин. Покрышку сразу отправляют на стадию измельчения, где разделяются на измельченную резиновую крошку и металлолом.

Некрупные изношенные покрышки со смешанным типом корда необходимо предварительно обрабатывать. Они нарезаются на небольшие части – чипсы или ленты, далее куски покрышки транспортируются к оборудованию для более мелкого измельчения и отделению фракций друг от друга. На протяжении всего процесса дробления происходит процесс сепарации на три отдельные фракции:

металлическую проволоку, текстиль и резиновые гранулы.

Крупные грузовые и КГШ в своём составе имеют нейлоновый текстиль, который облегчает конструкцию покрышки, но при этом и усложняет процесс переработки. Нити ткани корда распушаются, цепляются за дробленную скомканную металлическую проволоку и удерживают дробленую резиновую крошку. Также таким шинам необходима предварительная нарезка на части, так как большие габариты не позволяют их перерабатывать на оборудовании для утилизации легковых шин. К тому же, необходимо предварительно вытянуть проволоку из бортового кольца при помощи специального оборудования, так как площадь бортового кольца в несколько раз превышает площадь стальной кордной проволоки.

Помимо типоразмеров покрышки необходимо учитывать страну производства шины. Шины, произведенные в России и странах СНГ, имеют заметные отличия от зарубежных аналогов, несмотря на сходство внешнего вида.

Иностранные б/у шины требующие утилизации имеют радиальную конструкцию с цельнометаллическим типом корда, где армирующую способность несет стальная тонкая проволока. Основной состав в таких шинах имеет резина и металл, что уменьшает количество необходимого оборудования для измельчения. Стальная проволока легко отделяется от резинового корда при помощи магнитных сепараторов.

В России и СНГ большинство шин имеют радиальный корд со смешанным типом. В каркасе покрышки присутствует тонкая стальная проволока и большое количество нейлоновой ткани корда. Помимо радиальной конструкции шин смешанного типа в РФ изготавливается большое количество шин диагональной конструкции с текстильным типом корда. Использование только тканевой нити в корде такой покрышки обусловлено меньшей массой шины в сравнении со схожей покрышкой, но выполненной в цельнометаллической конструкции.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Шаховец, С. Е. О состоянии макромолекулярной структуры протекторных резин в течение эксплуатации и переработки шин / С. Е. Шаховец, С. К. Курлянд, Н. В. Сиротинкин, Е. А. Рюткянен // Известия СПбГТИ (ТУ). 2019. №51 (77).
2. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) "Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов" (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021)

3. Росстат // Количество автомобилей на 1000 человек. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 13.02.2024).

4. Невядомская, А. И., Утилизация и переработка шин в крошку / А. И. Невядомская, А. А. Дериглазов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 17 (76). — С. 310-313.

5. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (Принят ГД РФ 22.05.1998, действующая редакция).

6. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1589-р от 25.07.2017

7. Кравченко, В. М. Анализ основных технологических схем и линий по переработке и утилизации резинотехнических изделий / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозвой, Я. П. Топчий // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. Том Выпуск XX – С. 104-109.

8. Чуев, К. В. Основные виды утилизации резинотехнических изделий / К. В. Чуев, В. М. Кравченко, Э. А. Мутовалов // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 49-52.

9. Дуганов, В. Я. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин / В. Я. Дуганов, Т. А. Дуюн, К. В. Чуев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 103-112.

## Оглавление

Ветошкин Е.О., Козьмовский В.О

ВЫБОР ФРЕЗЕРНОГО МОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ..... 3

Гаврилов Р.В.

ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОРЛОВИН В СТАЛЬНЫХ  
ЗАГОТОВКАХ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ..... 7

Горохов П.С., Мотёркин А.В., Воронков И.Е.

МИНЕРАЛОКЕРАМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ..... 12

Захаров В.В.

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ALTAIR  
INSPIRE..... 16

Зотов Р.Д.

УМЕНЬШЕНИЕ ЗАТРАТ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛОСКИХ  
ДЕТАЛЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ..... 21

Зотов Р.Д.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ  
ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ В БАЛТ-СИСТЕМ ..... 24

Иванов В.С.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
УЛЬТРАЗВУКА ..... 29

Иванова А.И.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ..... 33

Коваленко А.Д., Медведев А.И., Немцев А.А.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИАЛЬНОГО БИЕНИЯ,  
С ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ МИКАТОРОМ ПО 3 ПЛОСКОСТЯМ 37

Козьмовский В.О., Амосов Д.Б.

АНАЛИЗ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА  
КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «ПОЛЗУН» ..... 39

Козьмовский В.О. <sup>1</sup> , Толстиков С.Р. <sup>1</sup> , Фадеев А.Ю. <sup>1</sup>	
ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	43
Лукьянов А.С.	
СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ ДИАМЕТРОМ ДО 110ММ НА БАЗЕ ШАРНИРНОГО МАНИПУЛЯТОРА .....	46
Микусов Е.О.	
ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГТУ НА ИСКУССТВЕННОМ ГАЗЕ .....	51
Немцев А.А., Коваленко А.Д., Мутовалов Э.А.	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ .....	54
Норман А.В., Шевченко А.Р.	
НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОИЗВОДСТВУ НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ .....	60
Пучинин В.О.	
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА.....	64
Савенкова А.Ю., Медведев А.И.	
ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ....	68
Усачев О.В. <sup>1</sup> , Сулейманов Р.Р. <sup>1</sup> , Макушева М.А. <sup>2</sup>	
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРЫ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА СЛАБОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	71
Чув К.В. <sup>1</sup> , Усачев О.В. <sup>1</sup> , Макушева М.А. <sup>2</sup>	
МНОГОСТАДИЙНЫЙ ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....	77
Чув К.В. <sup>1</sup> , Усачев О.В. <sup>1</sup> , Макушева М.А. <sup>2</sup>	
СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ ШИН.....	82

Чуев К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>

КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН И  
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ..... 88

Чуев К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>

СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
УТИЛИЗАЦИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ..... 92

Чуев К.В.<sup>1</sup>, Усачев О.В.<sup>1</sup>, Макушева М.А.<sup>2</sup>

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ  
ИЗДЕЛИЙ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ..... 95