

**Гречухин Александр Николаевич**

**РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕНИЯ  
ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
С ПЕРЕМЕННЫМ ПРОФИЛЕМ**

Специальность: 05.02.07 - Технология и оборудование механической  
и физико-технической обработки

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете на кафедре машиностроительных технологий и оборудования

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Емельянов Сергей Геннадьевич
Официальные оппоненты:	Смоленцев Владислав Павлович, доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры технологии машиностроения  Анисимов Роман Викторович, кандидат технических наук, Мценский филиал Государственный университет – учебно-научно производственный комплекс, заведующий кафедрой технологии машиностроения
Ведущая организация:	Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Защита диссертации состоится «26» декабря 2013 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.09 при Юго-Западном государственном университете по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94 (аудитория Г – 7).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Юго-Западного государственного университета по адресу: г. Курск, 50 лет Октября, д. 94.

Автореферат разослан «23» ноября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д 212.105.09



В.В. Куц

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Обработке сложнопрофильных поверхностей в последнее время в нашей стране уделяется достаточно большое внимание. Существуют методы обработки самыми разнообразными видами применяемого инструмента, оборудования и оснастки. Особенный интерес представляет обработка многогранных поверхностей с переменным по длине профилем поперечного сечения. Характерным примером такого вида поверхностей является концевая часть заготовок пружин, применяемых в системе рессорного подвешивания тележек грузовых и пассажирских вагонов. Согласно ГОСТ 1452-2011 «Пружины цилиндрические винтовые тележек и ударно-тяговых приборов подвижного состава железных дорог» опорные поверхности пружин делают плоскими и перпендикулярными к оси. Для этого концевые части заготовок выполняют четырехгранными.

Обзор производственных методов, применяемых для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем на примере концевых участков пружин железнодорожного транспорта, а именно горячая ковка, горячая вальцовка, показал, что рассмотренные методы являются либо низкопроизводительными, либо дорогостоящими с ограниченными параметрами типоразмеров заготовок и нерентабельными в условиях получения гранных поверхностей с переменным профилем на автоматических линиях. Применение метода горячей объемной штамповки является наиболее целесообразным, и, по сравнению с горячей ковкой и вальцовкой, является наиболее недорогим и производительным. Однако для реализации способа формообразования гранной части заготовок пружин в штампах в условиях автоматической линии появляется необходимость в предварительной токарной обработке заготовок на конус с целью снижения напряжений при деформации и обеспечения необходимой стойкости формообразующих элементов штампа, что значительно снижает производительность автоматических линий.

Проведенные исследования показали, что известные методы формообразования гранных поверхностей с переменным профилем не удовлетворяют требованиям их получения на автоматических линиях.

Большой вклад в разработку конструкторско-технологического обеспечения механической обработки профильных поверхностей внесли отечественные ученые: Л. С. Борович, А. И. Тимченко, В. А. Данилов, С. Г. Лакиреев, С. Г. Чиненов, В. М. Синкевич, Н. М. Карелин, С. Г. Емельянов, В. П. Смоленцев, А. Г. Ивахненко, А. И. Барботько, и др., а также зарубежные исследователи: Р. Мюзиль (R. Musyl), А. Франк (A. Frank), Л. Грибовски (L. Gribovski) и др. Ими были изучены вопросы формообразования гранной поверхности различной формы постоянного сечения. На данный момент остаются малоизученными методы обработки поверхностей с переменным профилем в сечении.

Таким образом, **актуальной задачей** машиностроения в данной области является исследование конструкторско-технологических параметров процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем и создание

инструментального оснащения для формообразования таких поверхностей на автоматических линиях.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ РФ по теме «Разработка и исследование жизненного цикла сложных наукоемких технических систем на основе CALS-технологий» (НШ-4423.2012.8).

**Цель работы:** повышение эффективности процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем на основе разработки сборного металлорежущего инструмента с планетарным движением с учетом влияния геометрических, силовых, точностных параметров технологической системы.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести анализ существующих методов формообразования гранных поверхностей с переменным профилем, выявить их недостатки, определить перспективные методы с целью обеспечения процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем в условиях автоматической линии.

2. Разработать новые средства инструментального оснащения для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем по методу планетарного формообразования.

3. Определить зависимости изменения кинематических переднего и заднего углов от конструкторско-технологических параметров оснастки и параметров заготовок, разработать математическую зависимость для определения минимально допустимого значения заднего угла металлорежущего инструмента, проверить полученные данные экспериментально.

4. Установить закономерности изменения профиля заготовок при обработке гранных поверхностей с переменным профилем сборным инструментом с планетарным движением и разработать математическую зависимость для определения суммарного угла закручивания заготовок при обработке.

5. Установить математическую зависимость для определения силы резания в зависимости от геометрических параметров сборного инструмента и режимов обработки с учетом особенностей планетарного точения.

6. Разработать алгоритм расчета конструкторско-технологических параметров процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем при планетарном точении.

7. Провести расчет экономической эффективности применения сборного металлорежущего инструмента с планетарным движением при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем.

8. Применить результаты исследований в промышленности и учебном процессе.

**Методы исследований и достоверность результатов.** Теоретические исследования проводились с использованием научных положений основ технологии машиностроения, теории проектирования режущих инструментов, теории резания, аналитической геометрии, компьютерного и математического моделирования.

Экспериментальные исследования проводились на действующем оборудовании в лабораториях кафедры машиностроительных технологий и оборудования Юго-Западного государственного университета.

Достоверность проведенных исследований, научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в работе, подтверждается согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных с применением современных методов, а также апробацией полученных сведений в процессе внедрения результатов.

**Объект исследования:** процесс формообразования гранной поверхности заготовок пружин железнодорожного транспорта.

**Предмет исследования:** закономерности влияния конструкторско-технологических параметров процесса формообразования гранной части заготовок пружин железнодорожного транспорта при планетарном точении на производительность и точность обработки

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Впервые получены математические зависимости, позволяющие определить:

- изменение кинематических переднего и заднего углов, дающее возможность оценить влияние конструкторско-технологических параметров процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением на величину кинематических углов и назначить рациональные параметры режущего клина сборного металлорежущего инструмента;

- величину минимально допустимого значения заднего угла металлорежущего инструмента при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением. Зависимость позволит скорректировать параметры режущего клина металлорежущего инструмента с целью предотвращения контакта задней поверхности инструмента с профилем формообразуемой поверхности и обеспечения возможности обработки гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением.

2. Получена математическая зависимость для определения суммарного угла закручивания заготовок в процессе формообразования гранных поверхностей с переменным профилем, устанавливающая закономерности изменения жесткости заготовки в зависимости от глубины резания, количества и длины режущих кромок инструмента, диаметра прутка, изменения профиля поперечного сечения заготовок, силы резания, позволяющая проводить проверочный расчет заготовок на жесткость в процессе обработки. Для определения силы резания разработана эмпирическая модель, учитывающая конструкторско-технологические параметры формообразования планетарным точением с применением сборного металлорежущего инструмента.

3. Разработан алгоритм расчета конструктивных параметров оснастки и технологических параметров обработки при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем, позволяющий автоматизировать конструкторско-технологическую подготовку операции формообразования

гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением.

### **Практическая значимость работы**

1. Проведен анализ существующих технологий формообразования гранных поверхностей с переменным профилем, учитывающий особенности обработки в условиях автоматической линии, который позволил определить преимущества и недостатки существующих способов.

2. Разработаны новые средства инструментального оснащения для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем по методу планетарного формообразования, а именно:

- конструкции резцовых блоков, реализующих схему отдельного съема удаляемого припуска при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем, позволяющие снизить величину составляющих сил резания, снизить отжатыя заготовки, повысить точность обработанной получаемой поверхности;

- устройство для закрепления заготовок, позволяющее производить формообразование гранных поверхностей с переменным профилем одновременно с двух сторон заготовки, обеспечивающее соосность формообразуемых поверхностей, в составе автоматической линии;

- устройство увеличения осевой жесткости инструментальной системы при планетарном точении, позволяющее снизить отжатые металлорежущего инструмента, повысив точность обработанной поверхности.

3. Программное обеспечение, разработанное на основе алгоритма проектирования конструкторско-технологических параметров процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем, позволяющее автоматизировать конструкторско-технологическую подготовку операции формообразования гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением.

4. Результаты работы апробированы в ЗАО «ЭЛАТ-Инструмент» (г. Курск), вид результатов внедрения: технологическая оснастка для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем; в ООО ПО «Вагонмаш» (г. Железнодорожск Курской обл.), вид результатов внедрения: технологическая оснастка для формообразования гравной части заготовок пружин тележек грузовых вагонов.

**Область исследований.** Содержание диссертации соответствует п.4 «Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию параметров инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки» паспорта научной специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

### **На защиту выносятся:**

1. Математическая зависимость, устанавливающая зависимость изменения кинематических переднего и заднего углов от конструктивных параметров оснастки и технологических параметров обработки при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем, учитывающая особенности

обработки; математическая зависимость для определения минимально допустимого значения заднего угла металлорежущего инструмента, позволяющая скорректировать параметры режущего клина металлорежущего инструмента с целью предотвращения контакта задней поверхности инструмента с профилем формообразуемой поверхности и обеспечения возможности обработки гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением.

2. Алгоритм расчета конструктивных параметров оснастки и технологических параметров обработки при формообразования гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением.

3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением.

4. Новые виды технологической оснастки для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем.

**Реализация результатов работы.** Разработанные элементы инструментального оснащения для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем внедрены на ООО ПО «Вагонмаш» (г. Железнодорожск Курской области), ЗАО «ЭЛАТ-Инструмент» (г. Курск) и используются в учебном процессе ЮЗГУ при подготовке инженеров по специальностям 151001 и 151003 по курсам «Детали машин и основы конструирования» и «Процессы формообразования и инструментальная техника», в научно-исследовательской работе научно-образовательного центра «Управление технико-экономическими системами» Ульяновского государственного технического университета.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры машиностроительных технологий и оборудования ЮЗГУ (2011 – 2013 гг.), на I Международной научно-практической конференции «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях» (Курск, 2011), на II Международной научно-практической конференции «Перспективное развитие науки, техники и технологии» (Курск, 2012), на II Международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технология» (Курск, 2012), на XX Международной научно-практической конференции «Технические науки — от теории к практике» (Новосибирск, 2012), на II Международной научно-практической конференции «Технические науки – основа современной инновационной системы» (Йошкар-Ола, 2012), IV Международной научно-практической конференции «Интеграция науки и практики как условие экономического роста» (Ульяновск, 2013), на Шестой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», на V Международной научно-технической конференции «Машиностроение – основа технологического развития России» (Курск, 2013), на I Международной научно-технической конференции «Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении и строительстве» (Курск, 2013).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 4 в рецензируемых научных журналах, получен 1 патент на полезную модель.

**Личный вклад автора.** Все выносимые на защиту результаты получены автором лично. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, автору принадлежат: проведение экспериментальных исследований, получение и обработка экспериментальных данных [1; 5; 8; 10; 12; 14; 15; 17]; математическая зависимость для определения максимального угла закручивания заготовки [2]; схема комбинированного удаления припуска [4; 19]; проведение анализа существующих способов, обоснование перспективных направлений исследования [6; 7; 13; 18]; конструкция и принципиальная схема устройства повышения жесткости инструментальной системы [9], технико-экономическое обоснование метода формообразования гранных поверхностей с переменным профилем [11], конструкция устройства для закрепления заготовок [16],

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 155 наименований, и 2-х приложений. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 52 рисунков и 18 таблиц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи работы, сформулированы новые научные результаты и положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы.

**В первой главе** представлен обзор применения деталей, содержащих гранные поверхности с переменным по длине профилем поперечного сечения. Характерным примером таких деталей является гранная часть заготовок пружин системы рессорного подвешивания железнодорожных вагонов. В связи с этим рассмотрены их конструктивные особенности, типоразмеры. Проведен анализ технологии изготовления пружин в условиях автоматической линии. Выявлено, что наиболее энергоемкой и сложной является операция формообразования гранной части заготовок, в связи с чем проанализирован ряд существующих технологий для выполнения вышеуказанной операции. Определено, что существующие технологии обладают существенными недостатками, что негативно сказывается на производительности изготовления пружин на автоматических линиях. В связи с этим были определены перспективные направления дальнейшего исследования и предложено применение планетарного точения для формообразования гранных поверхностей с переменным профилем.

**Во второй главе** представлены результаты аналитических исследований процесса формообразования гранной части заготовок пружин железнодорожных вагонов. Установлено, что для реализации способа формообразования гранной части заготовок пружин планетарным точением необходимо обеспечить формообразование за один установ заготовки. Для этого необходимо обеспечить поворот образующей металлорежущего инструмента относительно оси заготовки на угол, соответствующий углу наклона граней формообразуемой поверхности.



Поскольку длина формообразуемой части составляет порядка 300 мм, заготовка, закрепленная консольно, будет испытывать изгиб от действия инструмента, что приведет к отжатию.

Для снижения отжатию заготовки в процессе обработки возможно производить обработку парой инструментов, расположенных симметрично друг другу. Однако при такой схеме процесс обработки будет затруднен, поскольку припуск, удаляемый одновременно по всей длине обрабатываемой поверхности образует стружку большой длины (до 30 мм), при этом профиль заготовки под воздействием крутящего момента, создаваемого каждой режущей кромкой пары инструмента, будет изменяться. Для решения данной проблемы необходимо обеспечить деление удаляемого припуска между двумя симметрично расположенными инструментами в равных объемах.

Выявлено, что в процессе обработки изменяются передний и задний углы металлорежущего инструмента.

Для определения минимально допустимого значения заднего угла с целью обеспечения основного требования – отсутствие контакта задней поверхности инструмента и заготовки в процессе обработки необходимо определить точки пересечения траекторий движения вершины режущей кромки и точки задней поверхности инструмента, описываемых траекториями сложных кривых – трохоид 1 и 2 (рис. 1).

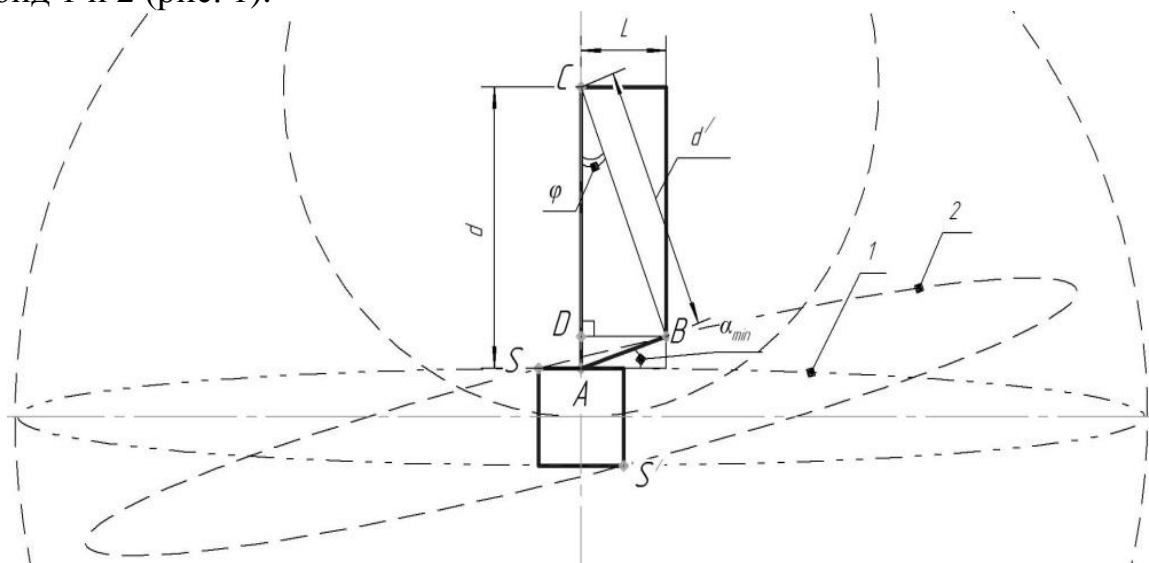


Рис. 1. Расчетная схема для определения минимального значения заднего угла  $\alpha_{\min}$   
Система уравнений трохоиды 1 имеет вид:

$$\begin{aligned} x(t) &= r \cdot \cos(t) + d \cdot \cos(t); \\ y(t) &= r \cdot \sin(t) - d \cdot \sin(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где,  $x$ ,  $y$  – координаты точки трохоиды;  $r$  – радиус колеса, на валу которого расположен резцовый блок, мм;  $d$  – расстояние от центра инструмента до вершины режущей кромки, (мм),  $t$  – параметр, характеризующий поворот инструмента вокруг своей оси.

Трохоида 2 повернута относительно трохоиды 1 на угол  $\varphi$ , ее уравнение имеет вид

$$\begin{aligned} x^\varphi(t) &= (r \cdot \cos(t) + d' \cdot \cos(t)) \cdot \cos(\varphi) - (r \cdot \sin(t) - d' \cdot \sin(t)) \cdot \sin(\varphi); \\ y^\varphi(t) &= (r \cdot \cos(t) + d' \cdot \cos(t)) \cdot \sin(\varphi) + (r \cdot \sin(t) - d' \cdot \sin(t)) \cdot \cos(\varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $d'$  – расстояние центра инструмента до точки на его задней поверхности.

Для определения точек пересечения двух трохоид приравняем уравнения (1) и 2 по одной из координат, с учетом, что  $t = \pi/N$ ,  $d' = L/\sin(\varphi)$ , где  $N$  – количество граней многогранника;  $L$  – ширина корпуса инструмента. Получим уравнение:

$$\left(r + \frac{L}{\sin(\varphi)}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N}\right) \cdot \cos(\varphi) - \left(r - \frac{L}{\sin(\varphi)}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{N}\right) \cdot \sin(\varphi) = (r + d) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N}\right) \quad (3)$$

При решении уравнения численными методами с помощью программного комплекса Mathcad возможно определить значение угла  $\varphi$ .

Искомый минимально допустимый задний угол равен:

$$\alpha_{\min} = \arctg\left(\frac{d - L \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)}{L}\right) \quad (4)$$

Получена математическая зависимость для определения величины кинематических переднего и заднего углов инструмента. Примем начало траектории в точке  $(r+d; 0)$ , где  $t = 0$ , тогда точка, в которой кинематические углы равны геометрическим, соответствует координатам  $(0; r-d)$ , где  $t = 90^\circ$ . Таким образом, для определения изменения величины кинематических углов определим разность углов поворота инструмента в точке с координатами  $(0; r-d)$ , при  $t = 90^\circ$ , и точке с координатами  $\left(\frac{r}{\sqrt{2}} + \frac{d}{\sqrt{2}}; \frac{r}{\sqrt{2}} - \frac{d}{\sqrt{2}}\right)$ , при  $t = 45^\circ$ , соответствующей моменту врезания инструмента, по формуле

$$\psi_{\text{теор}} = \pi/2 - \arctg\left(\frac{r+d}{r-d}\right) \quad (5)$$

В момент окончательной обработки происходит врезание всех режущих кромок резцовых блоков в тело заготовки.

С целью проведения проверочного расчета на жесткость заготовок в процессе обработки разработана математическая зависимость для определения угла закручивания. Крутящий момент численно равен сумме величин крутящих моментов, создаваемых каждой режущей кромкой:

$$T_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n T_i \quad (6)$$

где  $T_i$  – величина крутящего момента от  $i$ -й режущей кромки;  $i$  – количество режущих кромок.

Суммарная величина угла закручивания определяется по формуле:

$$\varphi_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n \frac{T_i \cdot l_i}{G \cdot I_{pi}} \quad (7)$$

$l_i$  – расстояние от точки закрепления заготовки до  $i$ -й точки обработки;  $G$  – модуль упругости второго рода;  $I_{pi}$  – полярный момент инерции сечения в  $i$ -й точке обработки.

Полярный момент инерции  $I_{pi}$  сечения в  $i$ -й точке обработки определяется как разность момента инерции номинального сечения заготовки и полярных моментов инерций секторов (рис. 2,б).

$$I_{\rho}(D_i) = I_{\rho}(A_i) - 2I_{\rho}(B_i) - 2I_{\rho}(C_i). \quad (8)$$

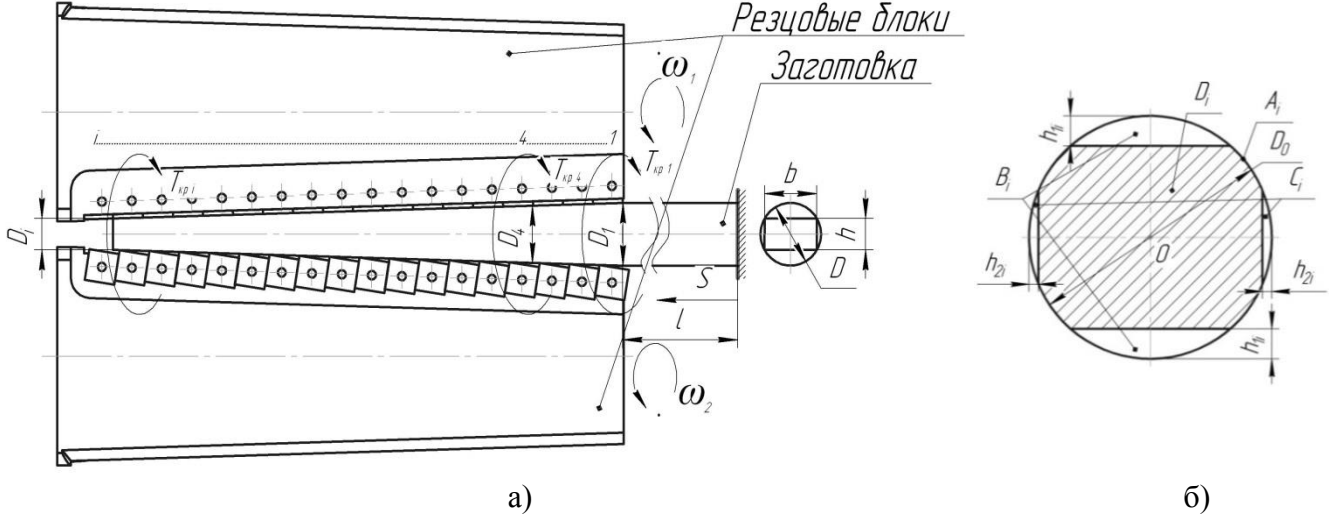


Рис. 2. Расчетная схема определения угла закручивания: а) модель окончательной обработки:  $\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости чистового и чернового резцовых блоков соответственно;  $D_1$  – диаметр окружности, описанной вокруг прямоугольного профиля в 1-й точке обработки;  $D_4$  – диаметр окружности, описанной вокруг прямоугольного профиля в 4-й точке обработки;  $D_i$  – диаметр окружности, описанной вокруг прямоугольного профиля в  $i$ -й точке обработки;  $S$  – продольная подача заготовки;  $T_{кр1}$  – крутящий момент, создаваемый 1-ой режущей кромкой;  $T_{кр4}$  – крутящий момент, создаваемый 4-ой режущей кромкой;  $T_{кри}$  – крутящий момент, создаваемый  $i$ -й режущей кромкой;  $b$  – ширина профильного участка;  $h$  – высота профильного участка; б) сечение в  $i$ -й точке обработки

Суммарная величина угла закручивания определяется по формуле

$$\varphi_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n \frac{F_z \cdot (l_0 + a \cdot (i-1)) \cdot (D_0 - 2t \cdot (i-1))}{G \cdot \left( \frac{\pi D_0^4}{32} - 2 \left[ \frac{R^4}{2} \int_{\arcsin \frac{R-t_1^i}{R}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 - \cos(4\alpha)}{2} d\alpha + \int_0^{\sqrt{R^2 - (R-t_1^i)^2}} x^2 (\sqrt{R^2 - x^2} - R + t_1^i) dx \right] - \left[ \frac{R^4}{2} \int_{\arcsin \frac{R-t_2^i}{R}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 - \cos(4\alpha)}{2} d\alpha + \int_0^{\sqrt{R^2 - (R-t_2^i)^2}} x^2 (\sqrt{R^2 - x^2} - R + t_2^i) dx \right] \right)} \quad (9)$$

где  $F_z$  – величина силы резания,  $l_0$  – расстояние от точки закрепления заготовки до начала профильной части;  $a$  – длина режущей кромки одной пластины;  $i$  – порядковый номер режущей пластины;  $t_1, t_2$  – глубина резания;  $D_0$  – начальный диаметр окружности;  $G$  – модуль упругости второго рода.

**В третьей главе** разработаны конструкции многолезвийных резцовых блоков, обеспечивающих обработку гранных поверхностей с переменным профилем (рис. 3). Резцовый блок представляет собой корпус с закрепленными на нем двумя сменными ножами. Ножи устанавливают на противоположных сторонах корпуса под углом к оси его вращения. Величина угла соответствует уклону гранной поверхности, причем первый нож обрабатывает одну сторону

гранной поверхности, второй – другую. На ножах закреплены сменные режущие пластины.

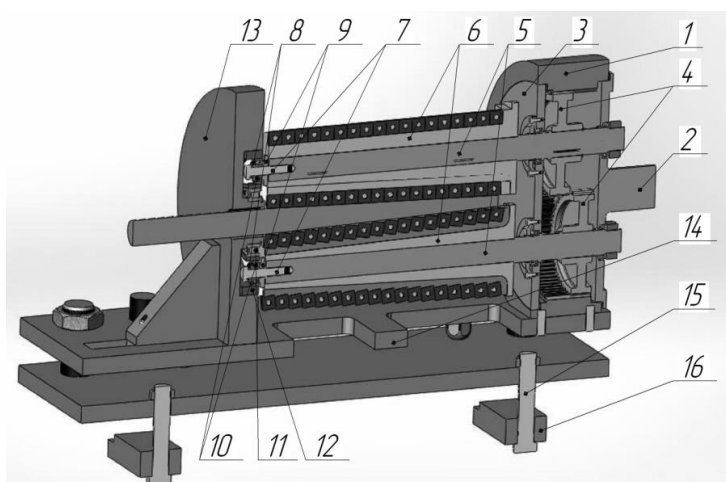


Рис. 3. Устройство для формообразования профильной части пружин железнодорожного транспорта: 1 – зубчатое колесо; 2 – планшайба; 3 – крышка; 4 – планетарное зубчатое колесо, 5 – вал; 6 – резцовый блок; 7 – болт крепёжный; 8 – шайба; 9 – шайба; 10 – подшипник; 11 – подшипник; 12 – подшипник; 13 – задняя стенка; 14 – плита; 15 – болт; 16 – планка крепёжная

Представлена и реализована схема комбинированного съема припуска заключающаяся в том, что припуск на обработку разделяется между черновыми и чистовыми резцовыми блоками в равных объёмах. Режущие кромки пластин чистового резцового блока располагают параллельно образующей ножа. На ножах чернового резцового блока режущие пластины закрепляют следующим образом: режущую кромку первой пластины располагают параллельно образующей ножа, а режущие кромки последующих пластин ориентируют под углом к его образующей. Формообразование происходит следующим образом: после снятия чернового припуска остаются гребешки, обеспечивающиеся ориентацией режущих пластин, которые являются чистовым припуском, а чистовой блок, удаляя остаточные гребешки, формирует окончательную поверхность, причем черновой блок смещён в осевом направлении в сторону заготовки на величину одного значения подачи.

Разработано устройство повышения осевой жесткости резцовых блоков с целью повышения точности обработки. Резцовые блоки закрепляются на валах посредством крепёжных болтов и шайб таким образом, что между шайбами находится подшипник, который взаимодействует с подшипником качения и с подшипником скольжения, закрепленными в задней стенке устройства обеспечения жесткости инструментальной системы, имеющей осевое отверстие для подачи заготовок.

Разработан механизм закрепления заготовок, применение которого обеспечило формообразование гранных поверхностей с переменным профилем одновременно с двух сторон заготовки, с соблюдением соосности форм поперечных сечений, в составе автоматической линии.

Для расчета конструктивных параметров механизма и технологических параметров обработки был разработан алгоритм. Исходными данными являются: диаметр заготовки, число граней формообразуемой поверхности, размеры сторон

получаемого многогранника, угол наклона граней, длина поверхности обработки; точность формообразуемой поверхности, база станочного оборудования.

В зависимости от точности поверхности принимается максимально допустимая величина погрешности формы. Определяются параметры технологической оснастки, а именно: радиус зубчатого колеса с внутренним зацеплением, радиус сателлитов, расстояние от центра вращения инструмента до вершины режущих кромок.

Далее на основании параметров технологической оснастки производится выбор технологического оборудования, а именно определяется модель токарного станка. По рекомендациям назначаются параметры геометрии режущего клина инструмента. Производится проверочный расчет кинематических переднего и заднего углов инструмента с целью их корректировки в зависимости от величины изменения при обработке. Далее производится проверочный расчет и, по необходимости, корректировка величины заднего угла с целью предотвращения контакта заготовки и задней поверхности режущего инструмента.

На следующем этапе назначается скорость резания. Сопоставляются характеристики выбранного технологического оборудования с назначенной скоростью резания, если характеристики оборудования не позволяют работать в выбранном диапазоне скоростей, следует выбрать другое технологическое оборудование. В случае если станочная база не позволяет производить обработку на назначенных режимах, следует провести корректировку режима резания по параметру которого не выполняется поиск оборудования из существующей базы станочного парка.

Следующий этап заключается в определении количества резцовых блоков и выбора схемы съема припуска. Количество резцовых блоков назначается в зависимости от габаритных размеров проектируемого приспособления, а схема резания устанавливается с учетом параметров обработки, а также мощности станка.

Заключительным этапом является проверочный расчет на жесткость заготовок. Критерием жесткости заготовки является величина максимально допустимого угла закручивания.

**В четвертой главе** в соответствии с задачами диссертации представлены результаты экспериментальных исследований процесса формообразования гранной части заготовок пружин железнодорожного транспорта с применением планетарного точения сборным инструментом.

Проверены экспериментально аналитические зависимости определения изменения кинематических переднего и заднего углов в процессе обработки инструментом с планетарным движением в зависимости от размеров устройства и параметров поперечного сечения гранной части заготовки пружины:

$$\psi_{\text{эсп.}} = 2,51 \cdot \frac{R^{0,91} \cdot \alpha^{4,08} \cdot b^{(0,8 \ln R + 0,79 \ln \alpha)}}{b^{6,63} \cdot R^{0,95 \ln \alpha}} \quad (10)$$

где  $b$  – ширина гранной поверхности;  $R$  – радиус зубчатого колеса с внутренним зацеплением;  $\alpha$  – геометрический задний угол инструмента.

Проведен многофакторный эксперимент и подтверждены результатами экспериментальных исследований аналитические зависимости для определения минимального значения заднего угла инструмента:

$$\alpha_{\min} = 7,1 \cdot \frac{b^{1,61} \cdot h^{0,18} \cdot L^{1,47}}{R^{1,18} \cdot b^{(0,38 \ln L)}} \quad (11)$$

где  $h$  – высота гранной поверхности;  $L$  – ширина корпуса инструмента.

На основании полученных результатов были построены диаграммы сравнения теоретических и экспериментальных данных (рис. 4).

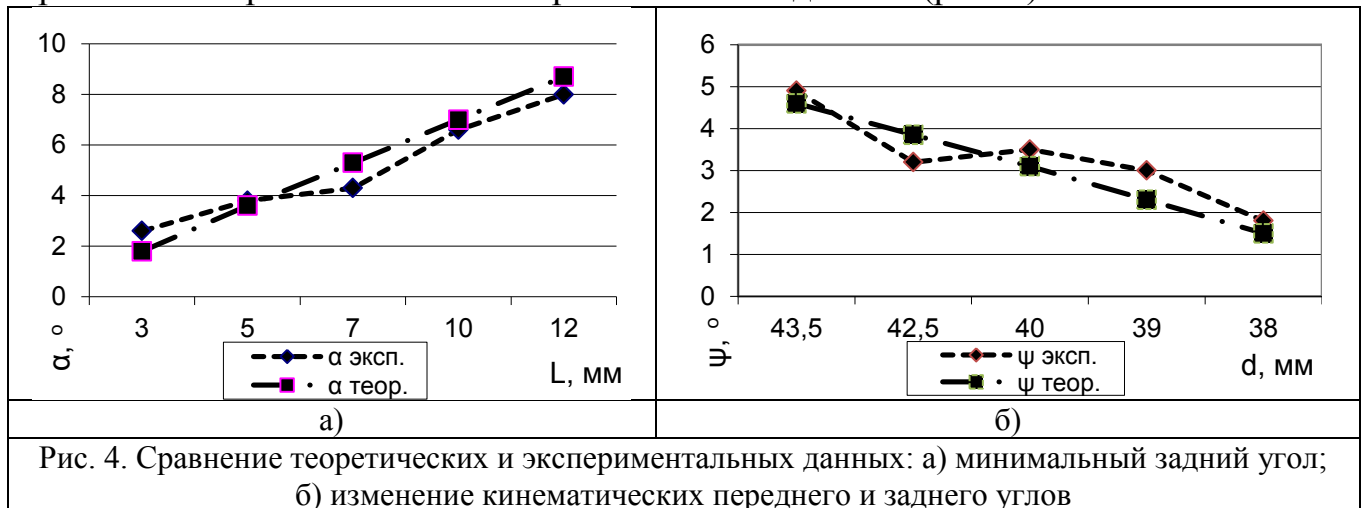


Рис. 4. Сравнение теоретических и экспериментальных данных: а) минимальный задний угол; б) изменение кинематических переднего и заднего углов

Сравнительный анализ показал, что разность между экспериментальными значениями не превышает 10%, что подтверждает адекватность полученных математических зависимостей

Экспериментально получена эмпирическая модель, отражающая зависимость силы резания от конструктивных параметров оснастки и технологических параметров обработки, позволяющая провести проверочный расчет на жесткость заготовок в процессе обработки:

$$P_z = 103,5 \cdot \frac{S^{1,8} \cdot \alpha^{0,41}}{n^{0,13} \cdot \gamma^{0,07}} \quad (12)$$

где  $S$  – подача заготовки;  $n$  – частота вращения шпинделя станка;  $\alpha$  – задний угол инструмента;  $\gamma$  – передний угол инструмента.

Проведен расчет технико-экономической эффективности применения процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем на примере операции формообразования гранной части заготовок пружин железнодорожных вагонов. Относительное сравнение себестоимости и трудоемкости различных методов формообразования показало, что применение метода формообразования гранной части заготовок пружин сборным инструментом с планетарным движением выигрывает по сравнению с технологией горячей объемной штамповки по трудоёмкости 28% и себестоимости 22%.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Анализ существующих технологий обработки показал, что наиболее эффективным методом формообразования гранных поверхностей с переменным

профилем является планетарное точение с применением схемы комбинированного удаления припуска.

2. Разработанные средства инструментального оснащения процесса формообразования гранных поверхностей с переменным профилем позволили снизить себестоимость формообразования в составе автоматической линии за счет применения:

- системы черновых и чистовых резцовых блоков, реализующих схему раздельного удаления припуска, что позволило разбить сплошную стружку на отдельные мелкие элементы, уменьшить тангенциальную составляющую силы резания, устранить отжатыя заготовки вследствие воздействия инструмента;

- устройства для закрепления заготовок, которое обеспечило формообразование гранных поверхностей с переменным профилем одновременно с двух сторон заготовки, с соблюдением соосности форм поперечных сечений, в составе автоматической линии;

- устройства повышения осевой жесткости инструментальной системы при планетарном точении, что снизило отжатие инструмента и уменьшило погрешность формы получаемой поверхности.

3. Установлено, что на величину рабочих кинематических углов оказывают влияние параметры поперечного сечения формообразуемого профиля, а именно ширина сечения, конструктивное исполнение оснастки – диаметр зубчатого колеса с внутренним зацеплением. В связи с этим получена зависимость для определения кинематических переднего и заднего углов, позволяющая назначить рациональные параметры геометрии режущего клина металлорежущего инструмента.

4. Разработана математическая зависимость для определения минимально допустимого значения заднего угла инструмента. Зависимость показывает, что величина минимально допустимого значения заднего угла зависит от параметров технологической оснастки, а именно от диаметра зубчатого колеса с внутренним зацеплением, от конструктивного исполнения оснастки – толщины режущей пластины металлорежущего инструмента, параметров поперечного сечения формообразуемого профиля – высоты и ширины сечения. Полученная зависимость позволит скорректировать назначенные параметры режущего клина металлорежущего инструмента с учетом обеспечения основного требования – отсутствия контакта инструмента с заготовкой при обработке.

5. В силу большого количества режущих кромок инструмента, одновременно участвующих в процессе резания, формообразование гранных поверхностей с переменным профилем с планетарным движением инструмента сопровождается действием на заготовку крутящего момента высокой величины, таким образом, необходимо проведение проверочного расчета заготовок на жесткость в процессе обработки, для чего разработана математическая зависимость для определения суммарного угла закручивания профиля заготовок. Зависимость отражает влияние силы резания, глубины резания, количества режущих кромок, длины режущей кромки, диаметра прутка, а также влияние изменения профиля поперечного сечения по длине формообразуемой

поверхности.

6. Для проведения проверочного расчета на жесткость заготовок в процессе формообразования гранных поверхностей с переменным профилем при планетарном точении была получена эмпирическая зависимость для определения силы резания в зависимости от конструкторско-технологических параметров, учитывающая особенности планетарного точения с применением сборного металлорежущего инструмента.

7. Разработанный алгоритм расчета конструктивных параметров оснастки и технологических параметров обработки гранных поверхностей с переменным профилем при планетарном точении позволил автоматизировать процесс расчета конструктивно-технологических параметров, что обеспечило сокращение времени на подготовительных этапах производства.

8. Проведенный расчет экономической эффективности применения сборного металлорежущего инструмента с планетарным движением при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем показал снижение себестоимости формообразования таких поверхностей на автоматических линиях без снижения производительности.

9. Результаты исследований приняты к внедрению на машиностроительных предприятиях г. Курска и Курской области, а именно: ООО ПО «Вагонмаш» (г. Железнодорожск), ожидаемый годовой экономический эффект 350 тыс. руб.; ЗАО «ЭЛАТ-Инструмент» (г. Курск), годовой экономический эффект составил 210 тыс. руб.. Применяются в учебном процессе Юго-Западного государственного университета, в научно-исследовательской работе научно-образовательного центра «Управление технико-экономическими системами» Ульяновского государственного технического университета.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Гречухин, А.Н. Экспериментальное определение минимального значения заднего угла инструмента при обработке профильной части пружин железнодорожного транспорта посредством планетарного механизма [Текст] / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Фундаментальные проблемы техники и технологии. – 2013. – №3-2. – С. 50-55.

2. Гречухин, А.Н. Определение жесткости профильной части пружины железнодорожного транспорта при многолезвийной обработке [Текст] // А.Н. Гречухин, А.О. Гладышкин, М.С. Разумов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.

3. Математическая модель определения частоты вращения шпинделя станка при точении профильных валов с использованием планетарного механизма [Текст] / М.С. Разумов, А.О. Гладышкин, А.Н. Гречухин [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №4 (43), ч. 2. – С. 117-120.

4. Способ формообразования вагонной пружины железнодорожного транспорта [Текст] / С.Г. Емельянов, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов, А.Н.



Гречухин [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – 2013. – №2. – С. 55 – 60.

### **Научные работы в других изданиях**

5. Гречухин, А.Н. Исследование значения заднего угла резца при обработке профильной части заготовок пружин для тележек грузовых и пассажирских вагонов посредством планетарного механизма [Текст] / А.Н. Гречухин, С.А. Чевычелов, М.С. Разумов // Современные материалы, техника и технология: материалы II Международной научно-практической конференции. – Курск, 2012. – С. 93-96.

6. Гречухин, А.Н. Анализ способов формообразования профильной части заготовок пружин для тележек железнодорожных вагонов [Текст] // А.Н. Гречухин, С.А. Чевычелов, М.С. Разумов // Перспективное развитие науки, техники и технологии: материалы II Международной научно-практической конференции. – Курск, 2012. – Т. 1. – С. 108–111.

7. Гречухин, А.Н. Анализ способов закрепления режущих пластин при обработке профильных поверхностей посредством планетарного механизма построителя [Текст] / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Технические науки — от теории к практике: материалы XX Международной заочной научно-практической конференции. – Новосибирск, – 2013. – С. 15–21.

8. Гречухин, А.Н. Анализ изменения кинематики углов резания в зависимости от профиля детали и технологических параметров планетарного механизма построителя [Текст] / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Технические науки – основа современной инновационной системы: материалы II Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, – 2012. – С. 31–35.

9. Гречухин, А.Н. Устройство обеспечения жесткости инструментальной системы при формообразовании планетарным механизмом построителем [Текст] / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Международный научно-исследовательский журнал. – №8(15). – 2013. – С. 17–19.

10. Гречухин, А.Н. Анализ погрешности формы профильной части пружин железнодорожных вагонов при обработке посредством управляемой кинематики планетарных перемещений инструмента [Текст] / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Интеграция науки и практики как условие экономического роста: материалы IV Международной научно-практической конференции. – Ульяновск, 2013. – С. 9–12.

11. Гречухин, А.Н. Расчёт экономической эффективности обработки профильной части заготовок пружин железнодорожного транспорта [Текст] // А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Будущее машиностроения России: материалы IV Международной конференции молодых ученых и специалистов. – Москва, 2013. – С. 18–19.

12. Гречухин, А.Н. Исследование значения скорости резания при обработке профильной части пружин железнодорожного транспорта посредством планетарного механизма [Текст] / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов //

Машиностроение – основа технологического развития России: материалы V Международной научно-технической конференции. – Курск, 2013. – С. 424–427.

13. Гречухин, А.Н. Модернизация технологического процесса изготовления пружин для вагонов железнодорожного транспорта [Текст] / А.Н. Гречухин, А.О. Гладышкин, М.С. Разумов // Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении и строительстве: материалы I Международной научно-технической конференции. – Курск, 2013. – С. 101–105.

14. Определение кинематических углов резания при механической обработке профильной части пружин железнодорожного транспорта [Текст] / С.Г. Емельянов, А.Н. Гречухин, М.С. Разумов [и др.] // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы III Международной научно-практической конференции. – Курск, 2013. – С. 380–382.

15. Определение силы резания при обработке гранной части заготовок пружин сборным инструментом с планетарным движением [Текст] / С.Г. Емельянов, А.Н. Гречухин, А.О. Гладышкин [и др.] // Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении и строительстве: материалы I Международной научно-технической конференции. – Курск, 2013. – С. 107–110.

16. Способ закрепления заготовок при формообразовании профильной части заготовок пружин железнодорожного транспорта [Текст] / С.Г. Емельянов, А.Н. Гречухин, А.О. Гладышкин, [и др.] // Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении и строительстве: материалы I Международной научно-технической конференции. – Курск, 2013. – С. 110–112.

17. Разумов, М.С. Экспериментальные исследования технологических параметров обработки гранных поверхностей на станках токарной группы с использованием планетарного механизма [Текст] / М.С. Разумов, А.Н. Гречухин, А.О. Гладышкин // Вестник Сумского национального аграрного университета. – Сумы, 2012. – №6(24). – С. 60–63.

18. Некоторые аспекты технологии изготовления пружин железнодорожных вагонов [Текст] / Е.И. Яцун, С.А. Чевычелов, А.Н. Гречухин [и др.] // Инновации, качество, сервис в технике и технологиях: материалы I Международной научно-практической конференции. – Курск, 2011. – С. 93–96.

#### **Патент на полезную модель**

19. Пат. 130530 Российская Федерация: МПК<sup>7</sup> В 23 В 5/44. Устройство для обработки профильной части пружин железнодорожного транспорта [Текст] /. Разумов М.С., Гречухин А.Н., Гладышкин А.О. [и др.] заявитель и правообладатель Юго-Западный государственный университет. заявлено 24.12.2012; опубл. 27.07.2013, Бюл. №21. 2 с.

Подписано в печать 20.11.2013. Формат 60x84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_ .

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул.50 лет Октября, 94.