

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи
УДК 621.09.042

ШАТУРОВ
Денис Геннадьевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ИЗНОСА РЕЗЦОВ И ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»

Могилев 2015

Работа выполнена в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель **Жолобов Александр Алексеевич**,
кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технология машиностроения»
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилев

Официальные оппоненты: **Хейфец Михаил Львович**,
доктор технических наук, профессор,
заместитель академика-секретаря Отделения
физико-технических наук НАН Беларуси,
г. Минск

Шалыжин Кирилл Алексеевич,
кандидат технических наук,
коммерческий руководитель проектов Stadler Rail
Group, г. Минск

Оппонирующая организация **Белорусский национальный технический университет, г. Минск**

Защита состоится «3» апреля 2015 г. в 14.00 на заседании Совета по защите диссертаций К02.18.01 при ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, пр-т Мира, 43, телефон ученого секретаря (222)-22-52-12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь Совета по защите диссертаций, доктор физико-математических наук



В. И. Борисов

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении большое внимание уделяется вопросам повышения качества наружных цилиндрических поверхностей при их формировании, в том числе и на деталях класса «валы». Значительную роль в решении этой задачи играют получистовые и чистовые технологические операции, осуществляемые последовательно призматическими и чашечными резцами, которые в последние годы конструктивно усовершенствованы за счет микрообновляемой режущей кромки (МОРК). Применение для обработки валов автоматизированных линий и станков с ЧПУ выдвигает на первый план проблему оптимизации параметров технологической системы (ТС) резания, решение которой основано на комплексном подходе, связанном с износом лезвийного инструмента и упругими перемещениями оси вала при формообразовании его поверхности на финишных операциях.

Диссертационная работа посвящена изучению износа лезвийного инструмента на основе физических представлений и математического моделирования процесса изнашивания с прогнозированием интенсивности, продолжительности, скорости изнашивания и величины износа лезвия за период его приработки, стойкости инструментов, минимизации упругих деформаций ТС при различных вариантах базирования заготовок валов, созданию условий по обеспечению оптимальных геометрических характеристик качества поверхностей и повышению точности на двух, последовательно выполняемых финишных операциях, при увеличении производительности, а также исследованию технологических возможностей и особенностей инструмента с МОРК.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утверждённому Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19.04.2010 г. № 585 «Высокоэнергетические процессы в технологической среде и на границе раздела фаз при формообразовании, упрочнении, обработке и испытании материалов, формировании покрытий».

Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках государственной комплексной программы научных исследований «Механика 2.29.3, за

2006–2010 гг. по разделу НИР-ГБ065Ф», «Совершенствование червячных передач качения на основе повышения КПД, кинематической точности и нагрузочной способности» (№ ГР 20061431), при выполнении которой автор являлся исполнителем, а также по плану работы «Использование чашечных резцов для чистовой обработки штоков гидроцилиндров с РУП «Могилевский завод «Строммашина».

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является прогнозирование, на этапе проектирования, и обеспечение, на этапе формирования, геометрических характеристик поверхностей валов при использовании комплексной технологии получистовой и чистовой токарной обработки призматическими и чашечными резцами с МОРК на основе оптимизации параметров процесса резания.

Для поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать математические модели прогнозирования величины износа призматического и чашечного резца с МОРК с целью увеличения стойкости инструментов и периода установившегося износа лезвия, уменьшения расхода инструментального материала и повышения точности при получистовой и чистовой обработке.

2. Выявить закономерности влияния основных параметров режима чистовой обработки инструментом с МОРК на силовые, теплоэнергетические характеристики процесса и геометрические параметры микрорельефа поверхностей валов с целью оптимизации процесса по обеспечению точности, уменьшению шероховатости обработанной поверхности и увеличению производительности.

3. Выявить новые закономерности изменения упругой деформации ТС при токарной обработке валов и разработать математическую модель по выбору оптимального варианта их базирования с целью повышения точности обработки.

4. Создать способ чистовой обработки поверхностей резцом с МОРК и исследовать влияние износа лезвия призматического резца и жесткости ТС на точность выполняемой получистовой и последующей чистовой обработки с целью прогнозирования и управления точностью на этих смежных операциях.

5. Провести производственные испытания и обосновать экономическую эффективность выполненных исследований с освоением технологии в производстве при обработке поверхностей валов.

Объектом исследований является технология формообразования наружных цилиндрических поверхностей валов при тчении призматическим резцом с последующей чистовой обработкой чашечным резцом с МОРК. В роли предмета исследований выступают основные факторы: режим обработки и жесткость ТС, влияющие на износ и стойкость инструментов, шероховатость и точность формируемых поверхностей.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в:

- математической модели и установленных новых закономерностях размерного износа призматического резца, определяющих интенсивность, величину, продолжительность и скорость изнашивания лезвия за период приработки, установившегося износа и весь период стойкости инструмента;
- математической модели, определяющей связь между скоростью микрообновления режущей кромки (РК) чашечного резца, временем резания, числом рабочих ходов (оборотов) РК, стойкостью чашечного резца с неподвижной РК и величиной износа задней поверхности чашечного резца с МОРК;
- выявлении новых закономерностей упругого перемещения оси заготовки вала, определяющих максимальные систематические погрешности при обработке в зависимости от режимов резания и жесткости элементов технологической системы (вала и его опор), а также связи между вариантами базирования заготовок валов и погрешностью обработки;
- определении связи между упругим перемещением оси вала в процессе обработки и размерным износом инструмента при различных методах настройки призматического резца на размер, обеспечивающих управление точностью обработки на смежных финишных операциях;
- установлении связи между режимами обработки, износом задней поверхности резца с МОРК, упругой деформацией материала заготовки, обеспечивающими управление величиной микропрофиля поверхности;
- оптимизации метода обработки чашечным резцом с МОРК, основанной на силовых и температурных показателях процесса резания, позволяющей достичь наивысшей производительности с ограничением по параметрам шероховатости, точности и температуры.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель величины размерного износа лезвия призматического резца и закономерности его изменения, позволяющая прогнозировать интенсивность, величину, продолжительность и скорость изнашивания за период приработки и установившегося износа и обоснованно назначать геометрию резца и режимы полустойкой обработки, обеспечивающие длительность периода установившегося износа от 63 до 83 % от общего периода стойкости, минимальную величину скорости изнашивания лезвия, уменьшение погрешности в 1,5...2 раза и повышение точности обработки.

2. Математическая модель величины износа и стойкости чашечного резца с МОРК при определённых условиях его работы (изменение скорости микрообновления и числа рабочих ходов режущей кромки (РК)), позволившая установить оптимальные диапазоны изменения показателя степени интенсивности изнашивания лезвия и режимы чистовой обработки, обеспечивающие повышение коэффициента использования инструментального материала на 40...75 %, удельного периода стойкости от 1,8 до 4 раз и минимальный износ лезвия при очередном рабочем ходе РК.

3. Экспериментальные и теоретические результаты исследований влияния режимов обработки, материала заготовки на силовые, температурные и геометрические характеристики микрорельефа поверхностей, обрабатываемых резцом с МОРК, позволившие определить режимы обработки, обеспечивающие минимальные величины сил резания и шероховатость поверхности 0,57...1,16 мкм по критерию R_a с возможностью управления ими за счёт изменения скорости микрообновления РК.

4. Закономерности изменения упругих перемещений оси вала и математическая модель по выбору оптимального варианта базирования заготовок валов на смежных получистовой и чистовой операциях, позволяющие с учетом размерного износа инструмента и методов его настройки осуществить управление точностью с обеспечением минимальной погрешности обработки.

5. Новый способ чистовой обработки чашечным резцом с МОРК, предусматривающий обновление РК, отличающийся увеличением скорости её перемещения пропорционально корню квадратному из числа рабочих ходов этой кромки. Разработанный способ обеспечивает стабилизацию силовых параметров и энергопотребления и является частью разработанной комплексной эффективной технологии изготовления штоков гидроцилиндров, включающей получистовую обработку призматическим резцом и чистовую обработку чашечным резцом при скоростях резания на обеих операциях $V = 180...245$ м/мин и скорости перемещения РК $V_p = 10...42$ мкм/с с последующим обкатыванием торовым накатником, позволяющие в комплексе получить шероховатость 0,37...0,4 мкм по критерию R_a и точность 8-го качества.

Личный вклад соискателя ученой степени

Совместно с научным руководителем соискатель принимал участие в разработке основной идеи. Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично и в соавторстве. Основными соавторами являются профессора А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров и доценты А. Н. Рязанцев и В. А. Лукашенко. Все представленные в диссертации экспериментальные и теоретические результаты получены соискателем самостоятельно. Являясь ответственным исполнителем, автор участвовал в выполнении НИР по теме диссертации.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные научные положения обсуждались на 42-й студенческой научно-технической конференции в Белорусско-Российском университете (2006 г.), на международных научно-технических конференциях «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (ГГУ, г. Гродно, 2005 г.), «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, 2007, 2008, 2010, 2011, 2014 гг.), «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, 2007 г.), «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (ФТИ НАНБ, г. Минск, 2008, 2010 гг.), «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» (БНТУ, г. Минск, 2011 г.).

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 29 научных работах, в том числе в 15 статьях, 10 из которых включены в перечень научных изданий ВАК Республики Беларусь (объем – 3,7 авторского листа), в 11 материалах и тезисах докладов научных конференций, получено 2 патента на полезную модель и 1 патент на способ обработки. Общее количество опубликованного материала – 7,9 авторского листа. Кроме того, основные результаты включены в отчет по НИР.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 192 страниц. Диссертация содержит 115 страниц текста, 64 рисунка, 20 таблиц и 13 приложений на 56 страницах. Список использованных источников включает 108 наименований, список публикаций соискателя – 29 наименований.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследований и практическая значимость полученных результатов, даны общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ литературных данных по теме диссертации. Показано, что точность получистовой обработки поверхностей валов сопряжена с размерным износом формообразующей поверхности участка лезвия призматического резца. Отсутствие аналитических зависимостей по определению интенсивности и величины износа призматического резца от времени его работы не позволяет прогнозировать точность получистовой обработки указанным инструментом, а также произвести оценку влияния износа лезвия призматического резца на точность последующей чистовой обработки чашечным резцом с МОРК. Решение этих проблем позволило бы повысить точность чистовой обработки.

Показано, что увеличение стойкости инструмента при чистовой обработке может быть достигнуто за счет применения схемы резания, предусматривающей обновление круговой режущей кромки чашечного резца в процессе его работы. Эффективность схем резания с обновлением режущей кромки по увеличению стойкости инструмента доказана в работах академика АН БССР Е. Г. Коновалова, академика АН БССР П. И. Ящерицина и их учеников, а так же в работах других советских ученых: В. Ф. Боброва, Д. Е. Иерусалимского, В. А. Землянского, Н. Н. Попка и др. В результате проведенного анализа установлено что наибольший эффект по качеству обрабатываемой поверхности достигается, когда скорость однократного перемещения РК на 5...6 порядков меньше скорости резания и осуществляется в направлении, совпадающем в зоне резания с направлением подачи. Однако, учитывая значительное уменьшение износа лезвия в этом случае, однократный рабочий ход режущей кромки РК ведет к недоиспользованию режущих свойств инструментального материала режущего элемента резца.

Известно, что увеличение погрешности обработки связано с наличием упругой деформации элементов ТС и как следствие с расположением сечения, определяющего максимальную погрешность обработки. Однако отсутствие зависимостей по определению расположения этого сечения вдоль оси заготовки не позволяет принять соответствующие меры по уменьшению систематической погрешности.

Исходя из вышеизложенного, разработка методик прогнозирования износа, стойкости инструментов и деформаций ТС позволит установить оптимальный вариант базирования заготовок валов и обеспечить повышение точности, геометрических характеристик качества обрабатываемой поверхности и производительности труда.

Вторая глава посвящена разработке методик прогнозирования износа и стойкости призматического резца и чашечного резца с МОРК.

Исходя из положений теории резания металлов, разработана методика по определению размерного износа лезвия призматического резца при получистовой обработке поверхностей. Впервые получена математическая модель, позволяющая определить следующие характеристики процесса изнашивания.

1. Текущая величина размерного износа и показателя степени интенсивности изнашивания лезвия призматического резца:

$$\delta_p = \frac{\delta_0}{T_0^{n_0}} \tau^{n_0} \cdot K_p; \quad (1)$$

$$n_0 = \left[\frac{T_0 V u_0}{1000 \delta_0 \cdot K_p} \right]^{0.6}; \quad (2)$$

$$K_p = \frac{\sin \varphi + \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \operatorname{tg} \alpha_3, \quad (3)$$

где δ_p – величина размерного (радиального) износа лезвия резца, мкм;
 δ_0 – оптимальный износ задней поверхности резца, мкм;
 τ, T_0 – время резания и период стойкости инструмента, мин;
 n_0 – показатель степени интенсивности изнашивания лезвия;
 V – скорость резания, м/мин;
 u_0 – относительный размерный износ лезвия инструмента за период установившегося износа, мкм/км;

$\varphi, \varphi_1, \alpha_3$ – главный, вспомогательный углы в плане и задний угол за-
 точки резца соответственно;

K_p – коэффициент перевода линейного износа задней поверхности рез-
 ца в размерный (радиальный).

2. Величина размерного износа за период приработки и установившегося
 износа работы инструмента:

$$\delta_{np} = \delta_0 \cdot n_0^{\frac{n_0}{1-n_0}} \cdot K_p; \quad (4)$$

$$\delta_{np} = \delta_0 \left(1 - n_0^{\frac{n_0}{1-n_0}} \right) \cdot K_p, \quad (5)$$

где δ_{np}, δ_{np} – величина размерного износа лезвия резца за время приработ-
 ки и установившегося износа, мкм.

3. Продолжительность периода приработки и установившегося износа:

$$\tau_n = T_0 \cdot n_0^{\frac{1}{1-n_0}}; \quad (6)$$

$$\tau_n = T_0 \left(1 - n_0^{\frac{1}{1-n_0}} \right), \quad (7)$$

где τ_n, τ_n – продолжительность периода приработки и установившегося износа, мин.

4. Средние скорости изнашивания задней поверхности резца за каждый период работы инструмента:

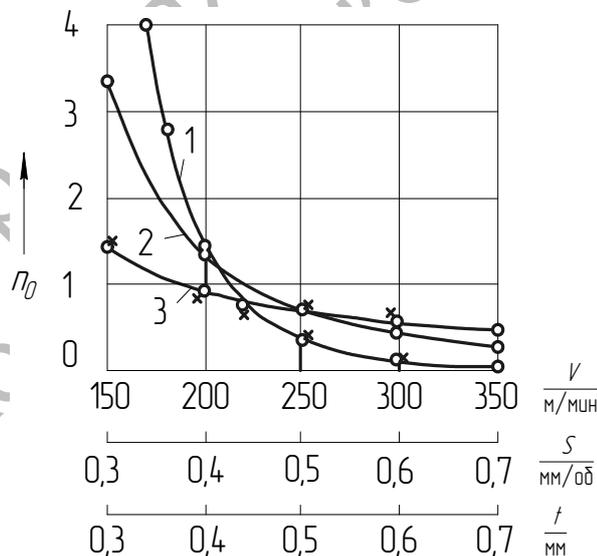
$$V_1 = \frac{\delta_0}{T_0} \cdot \frac{1}{n_0}; \quad (8)$$

$$V_2 = \frac{\delta_0}{T_0} \cdot n_0^{0,6}; \quad (9)$$

$$V_0 = \frac{\delta_0}{T_0}, \quad (10)$$

где V_1, V_2, V_0 – средние скорости изнашивания задней поверхности резца за период приработки, установившегося износа и период стойкости инструмента, мкм/мин.

С увеличением режимов обработки в исследованном диапазоне (рисунок 1) показатель степени n_0 уменьшается по гиперболической зависимости вследствие уменьшения стойкости инструмента.



1 – от скорости резания V : $S = 0,5$ мм/об; $t = 0,4$ мм; 2 – от подачи S : $V = 220$ м/мин; $t = 0,4$ мм; 3 – от глубины резания t : $V = 220$ м/мин; $S = 0,5$ мм/об; материал резца – Т15К6;
○ – расчёт; x – эксперимент

Рисунок 1. – Изменение показателя n_0 в зависимости от режимов обработки

Одновременно установлено, что показатель степени n_0 характеризует величину износа инструмента (1)...(5), продолжительность периодов износа (6), (7) и скорость изнашивания задней поверхности резца (8)...(10). При $n_0 = 1,0$ скорости

изнашивания за период приработки и установившегося износа равны друг другу: $V_0 = V_1 = V_2$ и определяются относительным размерным износом лезвия u_0 .

При условии, когда скорость V_2 с изменением показателя степени n_0 будет меньше или равна средней скорости V_0 , установлены оптимальные диапазоны показателя степени n_0 ($0,28 \leq n_0 \leq 1,0$) и скоростей резания $V = 180 \dots 245$ м/мин, обеспечивающие период установившегося износа лезвия резца от 63 до 83 % от величины периода стойкости при $S = 0,5$ мм/об, $t = 0,5$ мм.

Из условия минимальной величины суммарной средней скорости изнашивания лезвия за периоды работы инструмента создана методика по определению оптимальных значений показателя степени n_0 , скорости резания V и стойкости инструмента T_0 . В соответствии с этой методикой установлено, что $n_0^{opt} = 1,376$, $V = 0,953V_{II}$, $T_0 = 1,27T_{II}$, где V_{II} и T_{II} – скорость резания и период стойкости резца при $n_0 = 1,0$.

$$V_{II} = \left(\frac{C_V \cdot K_V}{S^y \cdot t^x} \right)^{1,25} \cdot \left(\frac{u_0}{1000 \cdot \delta_0 \cdot K_P} \right)^{0,25}; \quad (11)$$

$$T_{II} = \frac{1000 \cdot \delta_0 \cdot K_P}{V_{II} \cdot u_0}, \quad (12)$$

где S – подача, мм/об;

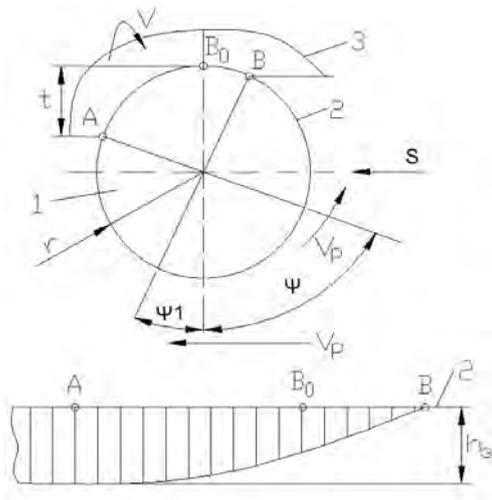
t – глубина резания, мм;

C_V , K_V , x , y – коэффициенты и показатели степени соответственно.

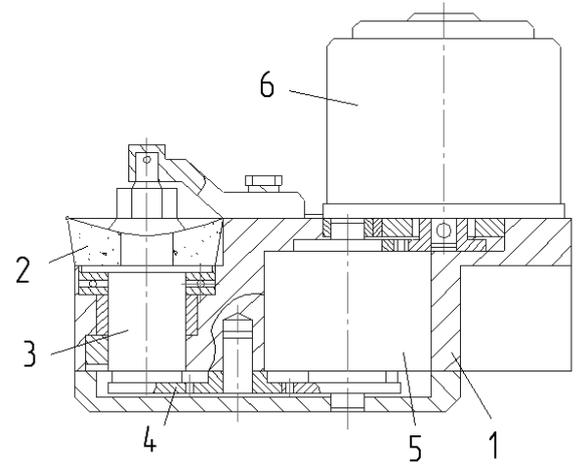
Для уменьшения размерного износа лезвия призматического резца за период приработки создана конструкция инструмента с наличием фаски на задней поверхности резца, определяемой по установленной зависимости, которая обеспечивает уменьшение погрешности в 1,5...2 раза [28] и повышение точности обработки по сравнению с резцом без фаски.

Наряду с этим предложена методика определения износа лезвия чашечного резца с МОРК при чистовой обработке поверхностей (рисунок 3), основанная на учете приращения износа в фиксированной точке РК при ее траектории вдоль поверхности резания (рисунок 2).

Разработана и экспериментально подтверждена математическая модель прогнозирования величины износа задней поверхности чашечного резца с МОРК и впервые получены следующие зависимости.



1 – резец; 2 – режущая кромка (РК);
3 – заготовка; А, В – крайние точки контакта
РК с заготовкой; В₀ – вершина резца;
V_p – направление перемещения РК
Рисунок 2. – Схема обработки резцом
с МОРК и вид износа РК



1 – корпус; 2 – режущий элемент;
3 – ось; 4 – блок шестерен;
5 – редуктор; 6 – электродвигатель
Рисунок 3. – Чашечный резец
с принудительным приводом РК

1. Для определения величины износа при N рабочих ходов РК:

$$h_{NM} = h_{1M} \left[N^{n_0+1} - (N-1)^{n_0+1} \right]; \quad (13)$$

$$h_{1M} = \frac{\delta_0}{T_0^{n_0}} \tau_M^{n_0} \cdot K_n; \quad (14)$$

$$K_n = \frac{n_0 + 4}{(n_0 + 2)(n_0 + 3)}; \quad (15)$$

$$\tau_M = \frac{b}{V_p \cdot 6 \cdot 10^4}; \quad (16)$$

где h_{1M}, h_{NM} – величина износа задней поверхности резца при одном и N рабочих ходов РК соответственно, мкм;

τ_M – время прохода точки РК зоны резания, мин;

b – ширина срезаемого слоя металла, мм;

N – текущее количество рабочих ходов РК;

K_n – коэффициент, характеризующий величину износа задней поверхности резца (рисунок 4, а, кривая 2);

V_p – скорость микрообновления (перемещения) РК, м/с.

2. Для определения удельного периода стойкости, т. е. стойкости длины

лезвия, ограниченной шириной срезаемого слоя:

$$T_{NM} = T_0 \cdot K_{TN}; \quad (17)$$

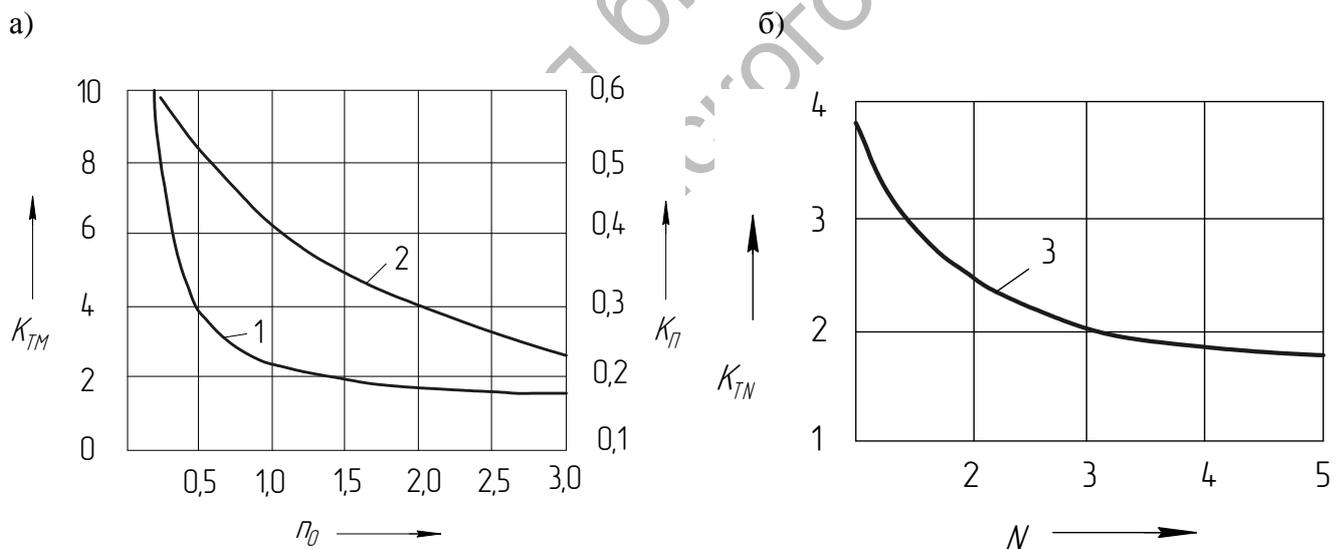
$$T_{M0} = T_0 \cdot K_{TM}; \quad (18)$$

$$K_{TN} = \frac{K_{TM} \cdot N}{\left[N^{n_0+1} - (N-1)^{n_0+1} \right]^{1/n_0}}; \quad (19)$$

$$K_{TM} = \left(\frac{1}{K_n} \right)^{\frac{1}{n_0}}, \quad (20)$$

где T_{NM} , T_{M0} – удельный период стойкости для чашечного резца с МОРК при многократном и однократном проходах РК зоны резания соответственно, мин;

K_{TM} , K_{TN} – коэффициенты, характеризующие удельные периоды стойкости при $N = 1,0$ (рисунок 4, а, кривая 1) и $N > 1,0$ (рисунок 4, б, кривая 3) соответственно.



1 – изменение коэффициента K_{TM} ; 2 – изменение коэффициента K_n ;

3 – изменение коэффициента K_{TN}

Рисунок 4. – Изменение коэффициентов удельного периода стойкости

K_{TM} , K_{TN} и величины износа K_n от показателя степени n_0

и числа N рабочих ходов

3. Для определения максимального числа рабочих ходов за период стойкости инструмента

$$N^{\max} = \frac{T_0}{\tau_M} \left[\frac{1}{(n_0 + 1)K_n} \right], \quad (21)$$

где N^{\max} – максимальное количество рабочих ходов РК до наступления оптимального износа.

Установлено, что использование режущих свойств чашечных резцов с МОРК в условиях чистовой обработки при первом обороте РК осуществляется на 25...60 % (рисунок 4, а, кривая 2), а полное их использование возможно при многократном от 2 до 5 раз обновлении РК, обеспечивающем увеличение удельного периода стойкости, по сравнению с чашечным резцом с неподвижной НРК, от 1,8 до 4 раз (рисунок 4, б, кривая 3). Получена зависимость и установлены оптимальные диапазоны изменения показателя степени $n_0 \leq 0,585...0,775$ и скорости резания $V = 180...245$ м/мин, обеспечивающие при очередном рабочем ходе РК износ задней поверхности резца, не превышающий величину износа лезвия первого рабочего хода.

В третьей главе приведены результаты исследований влияния деформации оси заготовки в процессе обработки на кинематические углы чашечного резца. Получены зависимости, позволяющие назначать оптимальные углы заточки резцов с учётом перемещения оси заготовки вала.

Приведены результаты экспериментальных исследований и регрессионные зависимости силовых и теплоэнергетических характеристик процесса чистовой обработки стали 45 резцом (материал Т15К6) с МОРК от режимов обработки, позволившие в дальнейшем осуществить оптимизацию параметров процесса по точности и производительности. Установлено, что тангенциальная составляющая силы резания превышает величину радиальной составляющей в 1,6...2 раза.

Выявлено, что увеличение скорости V_p микрообновления РК в 4,5 раза от 10 до 45 мкм/с приводит к уменьшению в 2,5...3 раза радиальной и тангенциальной составляющих силы резания, а числа рабочих ходов N от 1 до 5 раз соответственно к их увеличению в 1,7...2,5 раза. Это позволило, не меняя производительности, разработать способ чистовой обработки резцом с МОРК, обеспечивающий постоянство силовых параметров процесса в течение N рабочих ходов [27].

В четвертой главе представлены результаты исследований технологических возможностей процесса чистовой обработки резцом с МОРК в отношении шероховатости и точности обрабатываемой поверхности. С учетом геометрических характеристик инструмента и заготовки, механических характеристик обрабатываемого материала, износа лезвия получены теоретическая и экспериментально-статистическая зависимости определения величины шероховатости от режимов обработки.

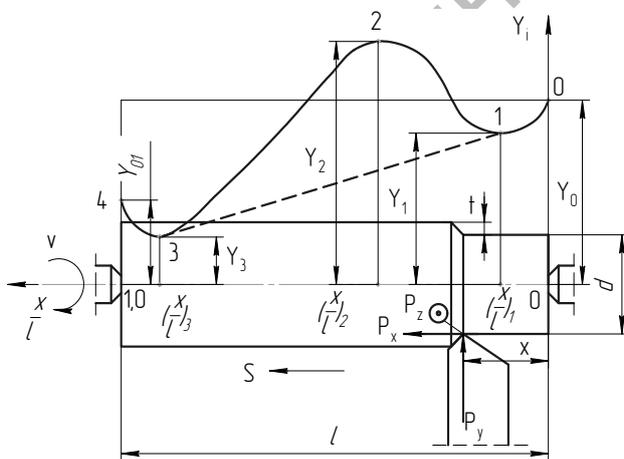
Установлено противоположное влияние режимов обработки (S , t , V) и скорости микрообновления РК V_p на шероховатость обрабатываемой поверхности. С увеличением скорости V_p от 5 до 45 мкм/с шероховатость уменьшается по параболической зависимости от 1,8 до 0,57 мкм по критерию R_a .

На основании результатов экспериментальных исследований выявлены оптимальные режимы обработки: подача $S = 0,21...0,6$ мм/об, глубина резания

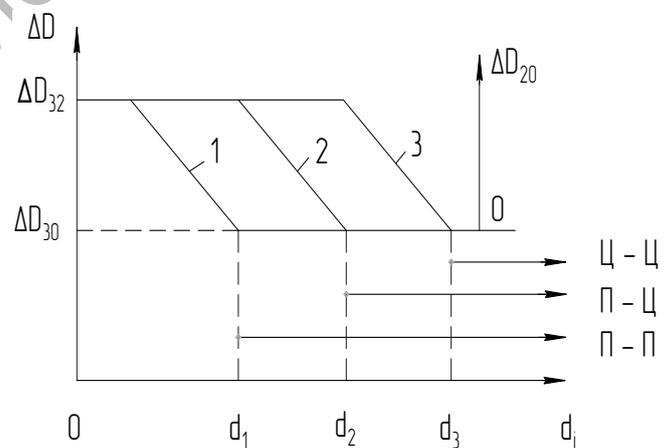
$t = 0,25 \dots 0,6$ мм, скорость резания $V = 2 \dots 4$ м/с, скорость перемещения РК $V_p = 10 \dots 42,5$ мкм/с и число рабочих ходов $N \leq 3$, обеспечивающие величину шероховатости поверхности $0,57 \dots 1,16$ мкм по критерию R_a , относительную опорную длину профиля $t_{60} = 70 \dots 82$ % и высоту волнистости $W_z = 3 \dots 5$ мкм. Показана возможность управления величиной шероховатости поверхности за счёт изменения скорости микрообновления РК и стабилизации её величины за время нескольких рабочих ходов.

Установлено, что при обработке вала под действием радиальной составляющей P_y силы резания линия упругих перемещений его оси имеет три экстремальные вершины, неравномерно расположенные между опорами. Получены аналитические зависимости по определению величин экстремальных упругих перемещений оси вала y_1, y_2, y_3 и их расположение $(x/l)_1, (x/l)_2$ и $(x/l)_3$ вдоль оси, определяющие величины максимальных систематических погрешностей, возникающих при обработке, например, $\Delta D_{20} = 2(y_2 - y_0)$, аналогично определяются и остальные погрешности (рисунок 5).

Из условия равенства упругих перемещений задней опоры вала и его оси в сечении ($y_2 = y_0$) впервые получена математическая модель, позволяющая определить оптимальные диапазоны изменения диаметров заготовок валов и оптимальные варианты их базирования, обеспечивающие минимальную систематическую погрешность при обработке в центрах (Ц–Ц) и её уменьшение в 1,8 и 3,5 раза при установке в патроне–центре (П–Ц) и патроне–патроне (П–П) (рисунок 6).



$y_0, y_1, y_2, y_3, y_{01}$ – упругие перемещения оси вала при его точении на всю длину;
 P_x, P_y, P_z – составляющие силы резания
 Рисунок 5. – Вид кривой и величина упругих перемещений оси вала в радиальной плоскости при обработке



1 – установка вала в патроне–патроне (П–П);
 2 – в патроне–центре (П–Ц);
 3 – в центрах (Ц–Ц)
 Рисунок 6. – Изменение погрешности обработки ΔD от диаметра обрабатываемого вала d

В пятой главе представлен анализ совместного влияния деформации элементов ТС (вала и его опор) и износа призматического резца на точность полу-

чистовой и последующей чистовой обработки чашечным резцом с МОРК. Получены зависимости, определяющие диаметральную погрешность обработки при достижении точности различными методами настройки резца на размер: методом пробных ходов и промеров; методом автоматического получения размеров на настроенном станке; и с непрерывным радиальным перемещением резца во время обработки каждой заготовки, например, на станке с ЧПУ. Установлены возможное количество настроек, оптимальные режимы обработки, обеспечивающие заданную точность.

Выявлено, что износ лезвия призматического резца в период приработки способствует уменьшению на 20...22 % погрешности формы и увеличивает в 3...5 раз диаметральную погрешность при обработке второй заготовки.

Исследования позволили провести оптимизацию режимов чистовой обработки резцом с МОРК, обеспечивающих повышение производительности до 26 % при соблюдении точности обработки по 8-му качеству, шероховатости поверхности $R_a \leq 1,0$ мкм, с возможностью её регулирования за счёт режимов резания и изменения скорости микрообновления РК. Показана перспективность применения после чистового точения резцом с МОРК, вместо полирования, финишной обработки выглаживающим торovým накатником, обеспечивающей шероховатость поверхности $R_a = 0,37...0,4$ мкм. Результаты выполненной работы внедрены в производство ЗАО «Промышленная лизинговая компания» при обточке конической поверхности расточных резцов с годовым экономическим эффектом в размере 4868900 р. и РУП «Могилевский завод «Строммашина» при обработке штоков гидроцилиндров с годовым экономическим эффектом в размере 14692100 р., полученным в результате замены шлифования и полирования чистовым точением чашечным резцом в комбинации с торovým накатником.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые для призматического резца получена математическая модель по определению величины размерного износа и показателя степени n_0 интенсивности изнашивания лезвия, продолжительности периодов приработки и установившегося износа, скоростей изнашивания за каждый период работы инструмента, позволяющие обоснованно выбирать оптимальные значения показателя степени n_0 , режимы обработки и геометрию режущей части инструмента, обеспечивающие длительность периода установившегося износа лезвия от 63 до 83 % от полного периода стойкости инструмента, минимальную скорость изнашивания инструмента, уменьшение

погрешности в 1,5...2 раза и повышение точности обработки [1; 2; 17; 26].

2. Впервые для чашечного резца с МОРК получена математическая модель по определению величины износа, удельного периода стойкости и максимального количества рабочих ходов РК, позволяющая выбирать оптимальные диапазоны изменения показателя степени $n_0 \leq 0,585...0,775$ интенсивности изнашивания задней поверхности резца и режимы обработки, обеспечивающие минимальный ее износ при очередном рабочем ходе РК, повышение коэффициента использования инструментального материала на 40...75 % и удельного периода стойкости в 1,8...4 раза [3; 11; 25].

3. Получены статистические зависимости процесса чистовой обработки чашечным резцом с МОРК, определяющие влияние режимов резания на силовые и теплоэнергетические характеристики процесса. Выявлено, что скорость V_p микрообновления РК уменьшает, а все другие параметры увеличивают составляющие силы резания, энергоемкость процесса и температуру. Установлено, что увеличение скорости микрообновления РК от 10 до 45 мкм/с приводит к уменьшению в 2,5...3 раза радиальной и тангенциальной составляющих силы резания, а увеличение числа рабочих ходов от 1 до 5 раз приводит к их увеличению в 1,7...2,5 раз [9; 13–16; 22; 23].

4. Предложена математическая и получена экспериментальная зависимости характеристик микрорельефа обрабатываемой поверхности чашечным резцом с МОРК от режимов обработки, позволяющие установить, что наибольшее влияние на величину шероховатости оказывает скорость резания V , скорость микрообновления РК V_p , количество ее рабочих ходов N и подача S , обеспечивающие на установленных оптимальных режимах обработки величину шероховатости 0,57...1,16 мкм по критерию R_a и относительную опорную длину профиля $t_{60} = 70...82$ % [10; 21].

Показана возможность стабилизации шероховатости обрабатываемой поверхности при увеличении числа рабочих ходов РК за счет увеличения скорости её микрообновления.

5. В результате исследований упругих перемещений оси заготовки выявлены новые закономерности их изменения, заключающиеся в наличии трех экстремальных точек на кривой перемещений; получены аналитические зависимости для определения их величин и расположения по длине заготовки, позволившие установить максимальные систематические погрешности [4; 5].

6. Получена математическая модель, позволяющая по длине заготовки и жесткости ТС определить оптимальные варианты базирования заготовок валов, обеспечивающие минимальную погрешность при обработке в центрах и ее уменьшение в 1,8 и 3,5 раза при их базировании в патроне и центре и в двух патронах [4; 5; 8; 14].

7. С целью прогнозирования погрешности обработки на двух смежных полу-

чистовой и чистовой операциях получены математические зависимости, позволяющие установить влияние режимов резания, жесткости элементов ТС и износа лезвия призматического резца на точность получистовой и последующей чистовой обработки чашечным резцом с МОРК; осуществить управление процессом с обеспечением заданной точности путем выбора расчетных режимов обработки, метода настроек резца и необходимой жесткости ТС [6–8; 12; 13; 18–20; 23; 24; 28].

8. Создан новый способ чистовой обработки чашечным резцом с МОРК, предусматривающий микрообновление РК, обеспечивающий стабилизацию силовых параметров и энергопотребления и являющийся частью разработанной комплексной эффективной технологии изготовления штоков гидроцилиндров, включающей получистовую обработку призматическим резцом и чистовую обработку чашечным резцом при скоростях резания на обеих операциях $V = 180...245$ м/мин и скорости перемещения РК $V_p = 10...42,5$ мкм/с с последующим обкатыванием торовым накатником, обеспечивающие в комплексе величину шероховатости $0,37...0,4$ мкм по критерию R_a и точность 8-го качества [4; 5; 7; 9; 10; 27; 29].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Полученные результаты являются научной основой для разработки технологии получистовой обработки поверхностей валов призматическим резцом и чистовой обработки чашечным резцом с МОРК, обеспечивающие увеличенный период установившегося износа, минимальный износ РК, минимум энергопотребления, требуемую точность и шероховатость при высокой производительности [1–8; 11; 15].

2. Использование методики прогнозирования точности при обработке стальных валов позволяет выбрать оптимальный вариант их базирования, оптимальные режимы резания, жесткость элементов ТС на двух смежных финишных операциях для достижения необходимой точности при обработке [4–6; 10; 14].

3. Разработанные технологии и инструменты могут быть использованы на промышленных предприятиях Беларуси и за рубежом. В приложениях К...П представлены акты их испытаний и внедрений на двух предприятиях Республики Беларусь. Суммарный годовой экономический эффект составил 19561000 р. [6; 9].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. **Шатуров, Г. Ф.** Исследование процесса изнашивания токарного инструмента / Г. Ф. Шатуров, В. А. Лукашенко, Д. Г. Шатуров // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2006. – № 3. – С. 113–118.
2. **Шатуров, Г. Ф.** Исследование закономерностей изнашивания токарных резцов / Г. Ф. Шатуров, Д. Г. Шатуров // Науч. тр. Могилевского фил. БИП. – Могилев. – 2006. – Вып. 1. – С. 121–126.
3. **Мрочек, Ж. А.** Использование явления самоорганизации процесса трения для повышения стойкости инструментов / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Д. Г. Шатуров // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2006. – № 4. – С. 29–32.
4. Исследование точности при обработке валов в центрах на токарных станках / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Э. Н. Ясюкович, Д. Г. Шатуров // Вестн. БНТУ. – 2006. – № 3. – С. 30–34.
5. Исследование закономерностей формообразования поверхностей заготовок валов при точении / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Э. И. Ясюкович, Д. Г. Шатуров // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Житомир, 2006. – Вып. 3. – С. 102–111.
6. Управление точностью при совмещённой токарной обработке резанием и обкатыванием / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 119–126.
7. Перспективная технология совмещённой обработки валов резанием и обкатыванием / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров // Вестн. БГТУ. Машиностроение. – 2008. – № 4. – С. 9–13.
8. **Мрочек, Ж. А.** Прогрессивные способы формообразования поверхностей штоков гидроцилиндров / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Д. Г. Шатуров // Вестн. БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 14–18.
9. **Жолобов, А. А.** Динамика процесса и эффективная мощность при точении с многократным микрообновлением режущей кромки / А. А. Жолобов, А. Н. Рязанцев, Д. Г. Шатуров // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 40–48.
10. **Шатуров, Д. Г.** Формирование шероховатости поверхностей валов при точении чашечным резцом с микрообновляемой режущей кромкой / Д. Г. Шатуров // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 113–121.
11. **Жолобов, А. А.** Износ чашечного резца с микрообновляемой режущей кромкой / А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 27–31.

12. **Шатуров, Д. Г.** Исследование точности при обработке валов в зависимости от метода настройки резца / Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров, А. А. Жолобов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 1. – С. 66–72.

Статьи в сборниках научных трудов

13. **Мрочек, Ж. А.** Снижение энергоёмкости процессов металлообработки при использовании ресурсосберегающих технологий / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Д. Г. Шатуров // Энерго- и материалосберегающие чистые технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Гродно, 2006. – Ч. 1. – С. 155–160.

14. **Мрочек, Ж. А.** Программирование точности при обработке поверхностей длинномерных валов с использованием станков с ЧПУ / Ж. А. Мрочек, А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–17 окт. 2008 г. : в 4 кн. / ФТИ НАНБ. – Минск, 2008. – Кн. 2. – С. 43–47.

15. **Жолобов, А. А.** Теплофизические особенности процесса резания резцом с многократным микрообновлением режущей кромки / А. А. Жолобов, А. Н. Рязанцев, Д. Г. Шатуров // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–17 сент. 2010 г. : в 3 кн. / ФТИ НАНБ. – Минск, 2010. – Кн. 2. – С. 243–248.

Материалы конференций

16. **Мрочек, Ж. А.** Снижение энергоёмкости процессов металлообработки при использовании ресурсосберегающих технологий / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Д. Г. Шатуров // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 1–2 нояб. 2005 г. / Науч. исслед. центр проблем ресурсосбережения НАНБ. – Гродно, 2005. – С. 20–21.

17. **Шатуров, Д. Г.** Исследование процесса изнашивания токарного инструмента / Д. Г. Шатуров // 42-я студенческая науч.-техн. конф. : материалы конф., Могилев, 16–20 мая 2006 г. – Могилев, 2006. – С. 198.

18. **Шатуров, Д. Г.** Влияние способов крепления заготовок валов на точность обработки / Д. Г. Шатуров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г. – Могилев, 2007. – Ч. 1. – С. 105.

19. **Шатуров, Д. Г.** Управление точностью при обработке резанием поверхностей валов / Д. Г. Шатуров // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 24–25 янв. 2007 г. – Могилев, 2007. – С. 41.

20. **Шатуров, Д. Г.** Управление точностью при обработке валов на токарных станках с ЧПУ / Д. Г. Шатуров // Материалы, оборудование и ресурсосбере-

гающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17–18 апр. 2008 г. – Могилев, 2008. – Ч. 1. – С. 67–68.

21. **Шатуров, Д. Г.** Финишная обработка поверхностей заготовок деталей с оптимизацией параметров их качества / Д. Г. Шатуров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2010 г. – Могилев, 2010. – С. 80.

22. **Шатуров, Д. Г.** Исследование динамики процесса резания многопроходным чашечным резцом / Д. Г. Шатуров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилёв, 22–23 апр. 2010 г. : в 3 ч. – Могилев, 2010. – Ч. 1. – С. 81.

23. **Шатуров, Д. Г.** Основные методы оптимизации процесса резания чашечными резцами / Д. Г. Шатуров // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 18–19 нояб. 2010 г. – Могилев, 2010. – С. 33.

24. **Шатуров, Д. Г.** Оптимизация параметров формообразования для обеспечения точности обрабатываемых поверхностей валов / Д. Г. Шатуров, Ж. А. Мрочек, А. А. Жолобов // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–13 апр. 2011 г. ; редкол. : В. К. Шелег [и др.]. – Минск, 2011. – С. 184–186.

25. **Шатуров, Д. Г.** Уточнение методики расчета износа чашечных резцов с микрообновляемой режущей кромкой / Д. Г. Шатуров, А. А. Жолобов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апр. 2011 г. – Могилев, 2011. – С. 88–89.

26. **Шатуров, Д. Г.** Оценка стойкости лезвийного инструмента / Д. Г. Шатуров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 апр. 2014 г. – Могилев, 2014. – С. 55.

Патенты

27. Способ обработки чашечным резцом : пат. на изобретение 16296 Респ. Беларусь, В 23 В 1/00 / Д. Г. Шатуров, А. А. Жолобов. – № а 20101156 ; заявл. 29.07.10 ; опубл. 10.06.12. – 2012. – 4 с.

28. Резец для обработки поверхностей : пат. на полезную модель 7174 Респ. Беларусь, В 23 В 27/00 / Д. Г. Шатуров, А. А. Жолобов. – № и 20100675 ; заявл. 29.07.10 ; опубл. 10.06.11. – 2010. – 7 с.

29. Устройство для обработки резанием с обкатыванием : пат. на полезную модель 7076 Респ. Беларусь, В 23 В 27/00 / А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров. – № и 20100672 ; заявл. 02.12.10 ; опубл. 10.06.11. – 2012. – 5 с.

РЭЗІЮМЭ

Шатураў Дзяніс Генадзьевіч

Забеспячэнне геаметрычных характарыстык паверхняў валоў на аснове прагназавання зносу разцоў і калянасці тэхналагічнай сістэмы

Ключавыя словы: рэзанне, разец, знос, стойкасць, дакладнасць, шурпатаць, чашачны разец, рэжучая абза, апрацоўка.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца тэхналогія формаўтварэння вонкавых цыліндрычных паверхняў валоў пры тачэнні.

Мэта працы: Прагназаванне на этапе праектавання і забеспячэнне на этапе фарміравання геаметрычных характарыстык паверхняў валоў пры выкарыстанні комплекснай тэхналогіі паўчыставой і чыстай такарнай апрацоўкі прызматычнымі і чашачнымі разцамі з МАРК на аснове аптымізацыі параметраў працэсу рэзання.

Распрацаваны метадыкі прагназавання зносу, перыядаў зносу і скарасцей зношвання і стойкасці прызматычнага і чашачнага разцоў, якія дазваляюць ажыццявіць выбар рэжымаў апрацоўкі, геаметрычных параметраў інструмента пры паўчыставой і чыстай апрацоўках і забяспечваюць працягласць перыяду ўсталяванага зносу прызматычнага разца больш за 63 % ад агульнага перыяду стойкасці, мінімальную велічыню зносу пры кожным чарговым рабочым ходзе РА чашачнага разца і павышэнне ў 1,8...4 разы яго ўдзельнага перыяду стойкасці.

Створаны і даследаваны спосаб чыстай апрацоўкі паверхняў разцом з МАРК, які дазваляе за кошт аптымізацыі рэжымаў рэзання і змянення скорасці перамяшчэння рэжучай абзы (РА) забяспечыць мінімальныя сілавыя і энергетычныя параметры працэсу і іх стабілізацыю на адным узроўні на працягу стойкасці інструмента з атрыманнем шурпатаці паверхні ў межах $R_a = 0,57...1,16$ мкм.

Распрацавана метадыка прагназавання хібнасцей дыяметральных паверхняў валоў пры тачэнні і атрыманы матэматычныя мадэлі для вызначэння аптымальнага варыянта базіравання загатоўак валоў, які забяспечвае мінімальную хібнасць. Вынікі даследаванняў могуць быць выкарыстаны на прамысловых прадпрыемствах пры праектаванні тэхналогіі дэталей тыпу валы.

РЕЗЮМЕ

Шатуров Денис Геннадьевич

Обеспечение геометрических характеристик поверхностей валов на основе прогнозирования износа резцов и жесткости технологической системы

Ключевые слова: резание, резец, износ, стойкость, точность, шероховатость, чашечный резец, режущая кромка, обработка.

Объектом исследования является технология формообразования наружных цилиндрических поверхностей валов при точении.

Цель работы: прогнозирование, на этапе проектирования, и обеспечение, на этапе формирования, геометрических характеристик поверхностей валов при использовании комплексной технологии получистовой и чистовой токарной обработки призматическими и чашечными резцами с МОРК на основе оптимизации параметров процесса резания.

Разработаны методики прогнозирования износа, периодов износа и скоростей изнашивания и стойкости призматического и чашечного резцов, позволяющие осуществить выбор режимов обработки, геометрических параметров инструмента при получистовой и чистовой обработках и обеспечивающие продолжительность периода установившегося износа призматического резца более 63 % от общего периода стойкости, минимальную величину износа при каждом очередном рабочем ходе РК чашечного резца и повышение в 1,8...4 раза его удельного периода стойкости.

Создан и исследован способ чистовой обработки поверхностей резцом с МОРК, позволяющий за счёт оптимизации режимов резания и изменения скорости перемещения режущей кромки (РК) обеспечить минимальные силовые и энергетические параметры процесса и их стабилизацию на одном уровне в течение стойкости инструмента с получением шероховатости поверхности в пределах 0,57...1,16 мкм по критерию R_a .

Разработана методика прогнозирования погрешностей диаметральных размеров поверхностей валов при точении и получены математические модели для определения оптимального варианта базирования заготовок валов, обеспечивающего минимальную погрешность. Результаты исследований могут быть использованы на промышленных предприятиях при проектировании технологии обработки деталей типа валы.

SUMMARY

Shaturov Denis Gennadyevich

Geometric Characteristics Assurance of Shaft Surfaces Based on Prediction of Tool Wear and Technological System Stiffness

Keywords: cutting, cutter, wear, cutting power, accuracy, roughness, cup tool, cutting edge, turning.

Subject of the research: technology of generation of external cylindrical surfaces of shafts by turning operation.

Objective of the research: prediction, at the stage of design, and assurance, at the stage of shaping, of the shaft surfaces geometric characteristics while using the complex technique of semi-finish and finish turning with prismatic and cup tools with a micro-renewed cutting edge based on the cutting process parameters optimization.

Methods for predicting wear, wear-out periods and wear rates as well as cutting power of prismatic and cup tools were developed. These methods allow choosing turning modes, geometric parameters of a tool used during semi-finish and finish turning, as well as ensuring the duration of the steady-state wear period of a prismatic cutter of more than 63 % of the total cutting power period, minimum wear rate at every stroke of the cutting edge of a cup tool, and an increase by 1,8...4 times of its specific cutting power period.

A technique of finish turning of surfaces with a cutter with a micro-renewed cutting edge has been developed and examined. Due to optimization of the cutting modes and change of the cutting edge (CE) travel speed it allows ensuring minimum power and energy parameters of the process and their stabilization at the same level during cutting power period of a tool resulting in the surface roughness in the range of $R_a = 0,57 \dots 1,16$ micrometre.

A method for predicting errors of diametrical dimensions of shaft surfaces during turning operation has been developed, and mathematical models for determining optimum alternative for locating shaft workpieces providing minimum error have been obtained. The research results can be used in industrial enterprises for developing turning technologies of shaft parts.



ШАТУРОВ
Денис Геннадьевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ИЗНОСА РЕЗЦОВ И ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»

Подписано в печать 19.08.2014. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,79. Тираж 86 экз. Заказ № 492.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.