

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

УДК 621.09.042

ШАТУРОВ
Денис Геннадьевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОКАРНОЙ
ОБРАБОТКИ ВАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА
ИНСТРУМЕНТА И ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»

Могилев 2013

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 **Каштальян Иван Алексеевич**,
доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета, г. Минск
- Лебедев Владимир Яковлевич**,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией физики поверхностных явлений ФТИНАН, г. Минск
- Оппонирующая организация **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск**

Защита состоится «15» ноября 2013 г. в 14.00 на заседании Совета по защите диссертаций К02.18.01 при ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: 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 « » октября 2013 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) с прогнозированием износа и стойкости инструментов, минимизации упругих деформаций элементов технологической системы и создания условий для повышения точности на двух последовательно выполняемых финишных операциях при увеличении производительности.

Недостатком известных исследований по износу лезвийного инструмента является отсутствие комплексного подхода к решению этой проблемы, не позволяющего полно раскрыть существующие резервы повышения стойкости традиционного и специального инструмента.

Настоящая диссертационная работа посвящена прогнозированию и обеспечению оптимальных характеристик качества и производительности получистовой и чистовой обработок валов призматическими и чашечными резцами с МОРК, а также более глубоким исследованиям технологических возможностей и особенностей относительно нового инструмента с МОРК.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь 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 технологическое обеспечение геометрических характеристик качества формируемых поверхностей деталей класса валы в процессе полустойкой и чистой обработки с использованием призматических и чашечных резцов с МОРК на основе оптимизации параметров процесса и прогнозирования их эффективности на этапе проектирования технологических операций.

Для поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

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

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

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

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

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

Объектом исследований является комплексная технология формообразования наружных цилиндрических поверхностей валов при точении призматическим резцом с последующей чистой обработкой чашечным резцом с МОРК. В роли предмета исследований выступают основные факторы, влияющие на износ и стойкость инструментов, шероховатость и точность формируемых поверхностей, а также технологические приемы управления процессами полустойкой и чистой обработок для повышения качества поверхностей и производительности механообработки.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель величины размерного износа лезвия призматического резца и закономерности его изменения за каждый период работы инструмента, позволяющие обоснованно назначать режимы получистовой обработки, обеспечивающие длительность периода установившегося износа от 63 до 83 % от общего периода стойкости и повышение в 1,5...2 раза точности обработки.

2. Математическая модель величины износа и стойкости чашечного резца с МОРК при определённых условиях его работы (скорости перемещения и числа рабочих ходов режущей кромки (РК)), позволившие 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 шероховатости поверхности $R_a = 0,57...1,16$ мкм и возможность управления ими за счёт изменения скорости перемещения режущей кромки.

4. Закономерности изменения упругих перемещений оси вала и математические модели по выбору оптимального варианта базирования заготовок валов на смежных получистовой и чистовой операциях, позволяющих 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 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.

Личный вклад соискателя

Совместно с научным руководителем соискатель принимал участие в подготовке её 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 доцент А. Н. Рязанцев. Все представленные в диссертации экспериментальные и теоретические результаты получены соискателем самостоятельно. Являясь ответственным исполнителем, автор участвовал в выполнении НИР по теме диссертации.

Апробация результатов диссертации

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

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 27 научных работах, в том числе в 14 статьях, 9 из которых включены в перечень научных изданий ВАК Республики Беларусь, в 10 материалах и тезисах докладов научных конференций, получено 2 патента на полезную модель и 1 патент на способ обработки. Кроме того, основные результаты включены в отчёт по НИР.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объём диссертации составляет 237 страниц. Диссертация содержит 115 страниц текста, 63 рисунка, 19 таблиц и 13 приложений на 49 страницах. Список использованных источников включает 106 наименований, список публикаций соискателя – 27 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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. Согласно исследованиям Э. И. Фельдштейна, Т. Н. Лоладзе, А. Д. Макарова, Г. И. Грановского, В. Н. Подураева и др. кривая максимального износа задней поверхности призматического резца от времени резания для резца может быть аппроксимирована степенной функцией, показатель которой характеризует интенсивность увеличения износа и определяется в результате экспериментальных исследований, что связано с повышенной трудоёмкостью. Отсутствие аналитических зависимостей по определению величины износа призматического резца от времени его работы, учитывающих все периоды его износа, не позволяет прогнозировать во времени 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 обработки. Эффективность схем резания с обновлением режущей кромки по увеличению стойкости инструмента доказана в работах акад. АН БССР Е. Г. Коновалова, Л. А. Гика, А. В. Соуся, В. А. Сидоренко, Г. Ф. Шатурова, М. Ф. Пашкевича, В. Ф. Боброва, Д. Е. Иерусалимского, В. А. Землянско, акад. АН БССР П. И. Ящерицына, В. Я. Лебедева, П. С. Чистосердова, М. Л. Хейфица, Н. Н. Попка, Л. П. Позднякова, Ж. А. Мрочка, В. А. Логвина и др. В результате проведенного анализа схем установки и схем резания чашечным резцом, а также способов обновления круговой режущей кромки выявлены их преимущества и недостатки. Так, в работах Л. Н. Позднякова установлено, что наибольший эффект по стойкости резца и качеству обрабатываемой поверхности достигается, когда скорость обновления режущей кромки на 5...6 порядков меньше скорости резания, что исключает термоусталостный износ лезвия, а ее однократное перемещение в зоне резания осуществляется в направлении, совпадающем 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.

Установлено, что увеличение погрешности обработки связано с наличием упругой деформации элементов ТС и с расположением единственного лимитирующего сечения, которое может располагаться как в середине длины вала (А. А. Маталин, В. С. Корсаков, К. А. Шалыжин), так и на некотором расстоянии от него (А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек). Однако отсутствие методики определения расположения целого ряда лимитирующих сечений вдоль оси заготовки вала, определяющих точность обработки, 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 изнашивания инструмента при резании металлов, разработана методика по определению размерного износа лезвия призматического резца при получистовой обработке поверхностей, основанная на постоянстве относительной скорости изнашивания лезвия резца за период установившегося износа. Впервые получена математическая модель, определяющая:

– текущую величину размерного износа и показателя степени интенсивности изнашивания лезвия призматического резца:

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

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

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

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;

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

K_p – коэффициент перевода линейного износа задней поверхности резца в размерный (радиальный);

– величину размерного износа за период работы инструмента:

$$\begin{aligned}\delta_{np} &= \delta_0 \cdot n_0^{\frac{n_0}{1-n_0}} \cdot K_p; \\ \delta_{ip} &= \delta_0 (1 - n_0^{\frac{n_0}{1-n_0}}) \cdot K_p,\end{aligned}\quad (4)$$

где $\delta_{n\delta}, \delta_{i\delta}$ – величина размерного износа лезвия резца за время прира- ботки и установившегося износа, мкм;

– продолжительность периода приработки и установившегося износа:

$$\begin{aligned}\tau_n &= T_0 \cdot n_0^{\frac{1}{1-n_0}}; \\ \tau_i &= T_0 (1 - n_0^{\frac{1}{1-n_0}}),\end{aligned}\quad (5)$$

где τ_n, τ_i – продолжительность периода приработки и установившегося износа, мин;

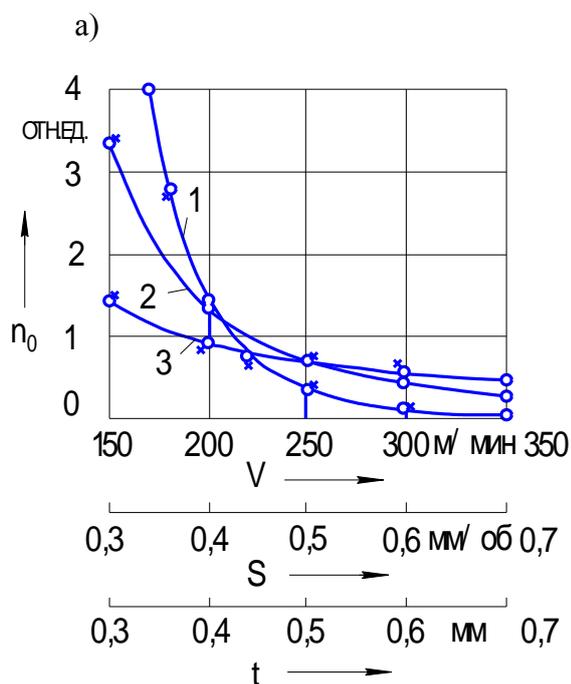
– средние скорости изнашивания задней поверхности резца за каждый период работы инструмента:

$$\begin{aligned}V_1 &= \frac{\delta_0}{T_0} \cdot \frac{1}{n_0}; \\ V_2 &= \frac{\delta_0}{T_0} \cdot n_0^{0,6}; \\ V_0 &= \frac{\delta_0}{T_0},\end{aligned}\quad (6)$$

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

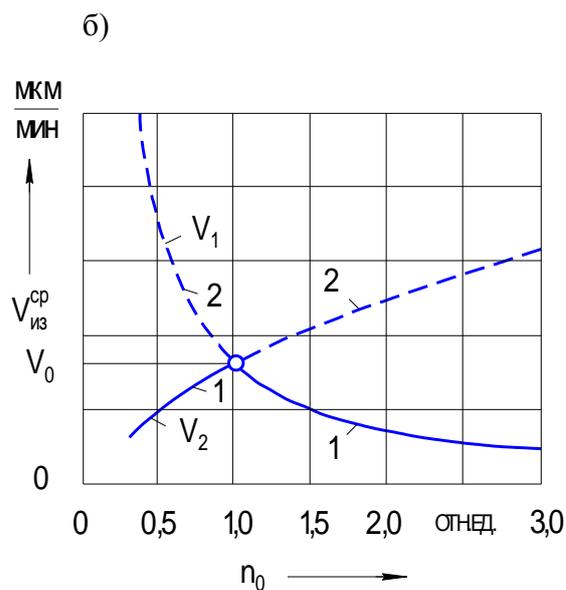
С увеличением режимов обработки в исследованном диапазоне (рису- нок 1, а) показатель степени n_0 уменьшается по гиперболической зависимости. Установлено, что показатель степени n_0 влияет на продолжительность периодов износа, скорость изнашивания и величину износа инструмента. При увеличении

показателя степени n_0 до 1 период приработки τ_n увеличивается, а период установившегося износа лезвия и скорость изнашивания V_1 уменьшаются. При этом при $n_0 < 1,0$ скорость V_1 характеризует собой скорость изнашивания лезвия за период приработки, а при $n_0 > 1,0$ – скорость изнашивания за период установившегося износа (рисунок 1, б). При увеличении показателя степени n_0 скорость V_2 увеличивается, характеризуя собой скорость изнашивания за период установившегося износа, а при $n_0 > 1,0$ – период ускоренного износа лезвия. При $n_0 = 1,0$ скорости изнашивания за период приработки и установившегося износа равны друг другу: $V_0 = V_1 = V_2$ (см. рисунок 1, б).



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; сплошная линия – расчёт;
х – эксперимент

Рисунок 1 – Изменение показателя n_0 в зависимости от режимов обработки



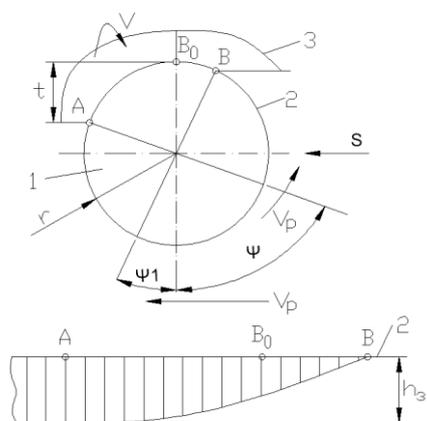
1 – период установившегося износа лезвия;
2 – период ускоренного износа лезвия

Рисунок 2 – Влияние показателя n_0 на среднюю скорость изнашивания задней поверхности инструмента

При условии, когда скорость V_2 при изменении показателя степени n_0 будет меньше или равна средней скорости V_0 , установлены оптимальные диапазоны изменения 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 75 % от величины периода стойкости.

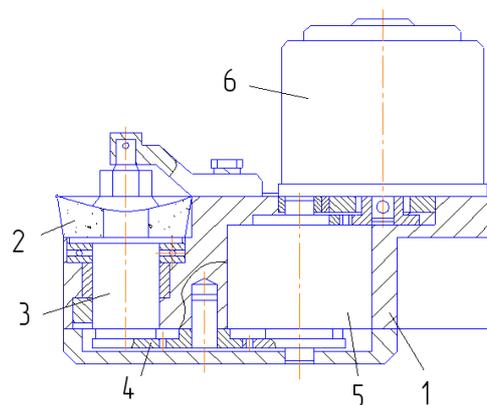
Для уменьшения размерного износа лезвия призматического резца за время приработки разработана конструкция инструмента с наличием фаски на задней поверхности резца, определяемой по установленной зависимости, которая обеспечивает продолжительность периода установившегося износа от 75 до 83 % от периода стойкости резца и повышение точности обработки в 1,5...2 раза (патент 7174).

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



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 3 – Схема обработки резцом
с МОРК и вид износа РК**



1 – корпус; 2 – режущий элемент;
3 – ось; 4 – блок шестерен;
5 – редуктор; 6 – электродвигатель

**Рисунок 4 – Чашечный резец
с принудительным
приводом РК**

Разработана и экспериментально подтверждена математическая модель прогнозирования величины износа задней поверхности чашечного резца с МОРК (рисунок 4) и впервые получены зависимости:

– для определения величины износа при N рабочих ходов РК:

$$h_{NM} = h_{1M} \left[N^{n_0+1} - (N-1)^{n_0+1} \right]; \quad (7)$$

$$h_{1M} = \frac{\delta_0}{T_0^{n_0}} \tau_M^{n_0} \cdot K_n; \quad (8)$$

$$K_n = \frac{n_0 + 4}{(n_0 + 2)(n_0 + 3)}; \quad (9)$$

$$\tau_M = \frac{b}{V_p}, \quad (10)$$

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;

– для определения удельного периода стойкости:

$$T_{NM} = T_0 \cdot K_{TN};$$

$$T_{M0} = T_0 \cdot K_{TM}; \quad (11)$$

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

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

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

$K_{\dot{\alpha}}, K_{TN}$ – коэффициенты, характеризующие удельные периоды стойкости при $N=1,0$ и $N > 1,0$ соответственно;

– для определения максимального числа рабочих ходов

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

где N^{\max} – максимальное количество рабочих ходов РК, до наступления оптимального износа, позволяющие оптимизировать параметры процесса по стойкости инструмента и точности обработки.

Установлено, что использование режущих свойств чашечных резцов с МОРК в условиях чистовой обработки при первом обороте РК осуществляется только на 25...60 % (рисунок 5, кривая 2), а полное их использование возможно только 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 (см. рисунок 5, кривая 3). Получена зависимость и установлены оптимальные диапазоны изменения показателя степени $n_0 \leq 0,58...0,68$ и скорости резания $V = 180...245 \text{ м/мин}$, обеспечивающие при

очередном рабочем ходе РК износ задней поверхности резца, не превышающий величину износа лезвия первого рабочего хода.

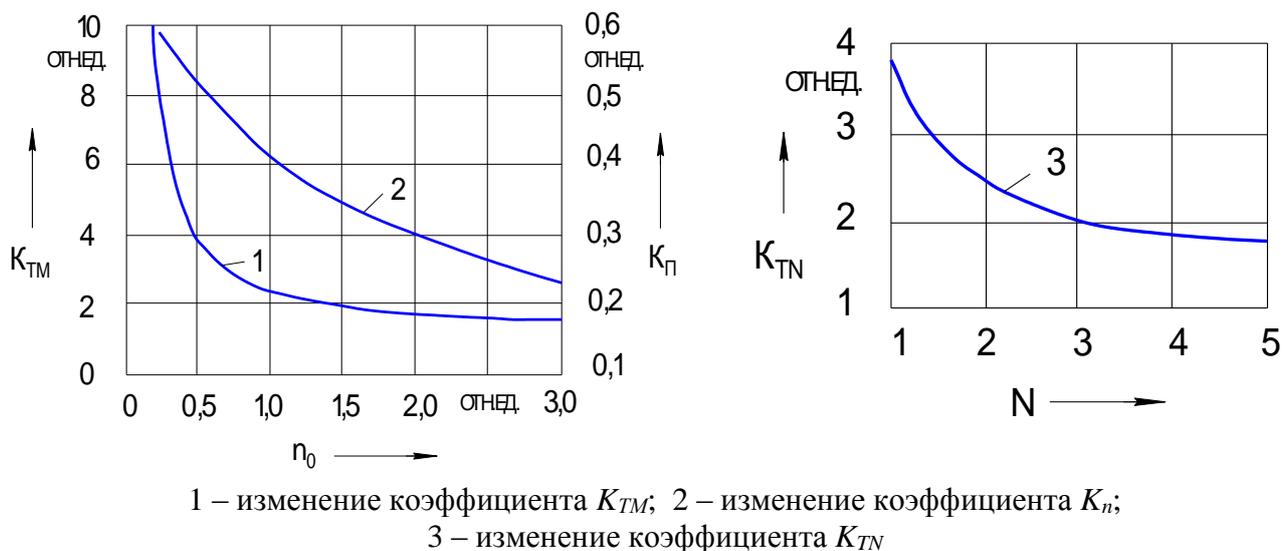


Рисунок 5 – Изменение коэффициентов удельного периода стойкости K_{Δ} , K_{TN} и уменьшения величины износа K_i от показателя степени n_0 и числа N рабочих ходов

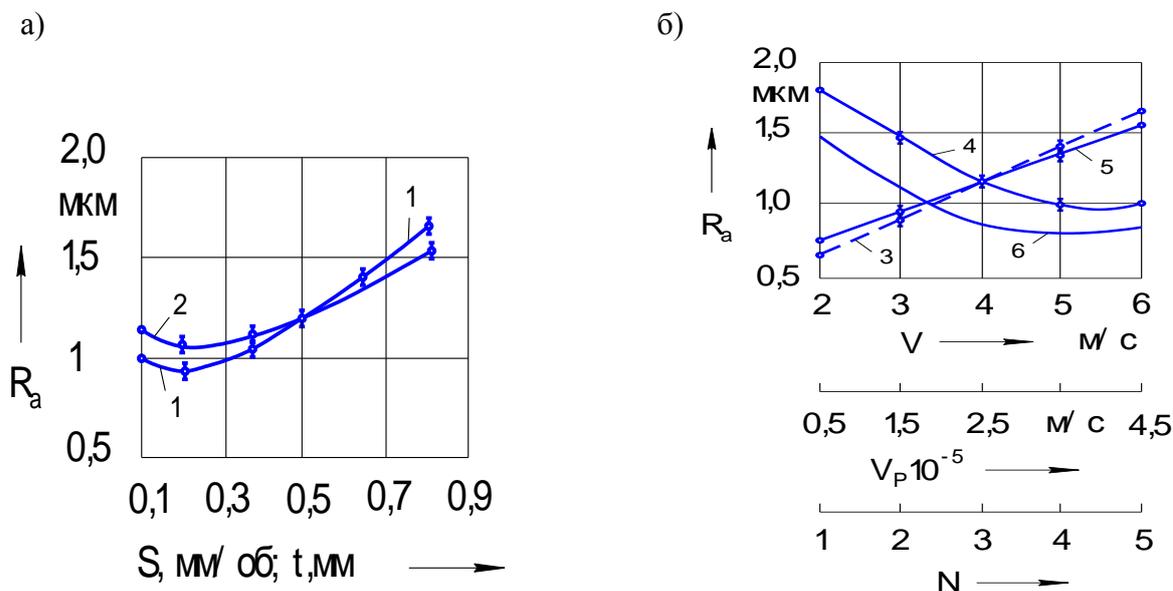
В третьей главе приведены результаты исследований влияния деформации оси заготовки в процессе обработки на кинематические углы чашечного резца. В результате установлено, что при перемещении резца вдоль оси заготовки кинематические углы резца изменяются пропорционально величине её прогиба. Получены зависимости, позволяющие назначать оптимальные углы заточки резцов с учётом перемещения оси заготовки вала.

Приведены результаты экспериментальных исследований и получены 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 точности и производительности. Установлено, что тангенциальная составляющая силы резания превышает величину радиальной составляющей силы резания в 1,6...2 раза. Выявлено, что наибольшее влияние оказывают на радиальную составляющую силы резания глубина резания, на тангенциальную составляющую – скорость перемещения РК; на энергоёмкость процесса и температуру резания – скорость резания, а наименьшее влияние на все выходные силовые и теплоэнергетические характеристики процесса – число рабочих ходов РК.

Установлено, что при чистовой обработке для уменьшения до 18 % радиальной и тангенциальной составляющих силы резания подача $S \leq 1,0 \text{ мм/мин}$, глубина резания $t \leq 1,0 \text{ мм}$; оптимальную подачу необходимо назначать соответственно из соотношений: $S_0 \leq t^{1,27} \text{ мм/мин}$; $S_0 \leq t^{0,83} \text{ мм/мин}$.

Выявлено, что увеличение скорости V_p перемещения 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 изменяя производительности, разработать способ чистовой обработки резцом с МОРК, обеспечивающий постоянство силовых параметров процесса в течение одного рабочего хода за счёт увеличения скорости перемещения РК пропорционально корню квадратному из числа N совершаемых рабочих ходов (\sqrt{N}) (патент 16296).

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 и упругих деформаций технологической системы резания. Получены теоретическая и экспериментально-статистическая зависимости определения величины шероховатости от режимов обработки (рисунок 6, а), позволившие установить, что наибольшее влияние на величину шероховатости с небольшой разницей между ними оказывают скорость V_p перемещения РК, количество рабочих ходов N и подача S (рисунок 6, б).



а – 1 – подача S ($t=0,5$; $V=4$; $V_p=25$; $N=3$);

2 – глубина резания t ($S=0,5$; $V=4$; $V_p=25$; $N=3$);

б – 3 – скорость резания V ($t=0,5$; $S=0,5$; $V_p=25$; $N=3$);

4 – скорость перемещения РК V_p ($t=0,5$; $S=0,5$; $V=4$; $N=3$);

5 – число оборотов РК резца N ($t=0,5$; $S=0,5$; $V=4$; $V_p=25$);

6 – скорость перемещения РК V_p ($t=0,5$; $S=0,5$; $V=4$; $N=1,0$)

Рисунок 6 – Зависимость шероховатости поверхности от режимов резания

Установлено противоположное влияние режимов обработки и скорости перемещения РК на шероховатость обрабатываемой поверхности, с увеличением которой от 5 до 45 мкм/с шероховатость уменьшается по параболической зависимости от 1,8 до 0,57 мкм.

На основании результатов экспериментальных исследований выявлены оптимальные режимы обработки: подача $S = 0,21 \dots 0,6 \text{ мм/мин}$, глубина резания $t = 0,25 \dots 0,6 \text{ мм}$, скорость резания $V = 2 \dots 4 \text{ м/мин}$, скорость перемещения РК $V_p = 10 \dots 42,5 \text{ м/мин}$ и число рабочих ходов $N \leq 3$, обеспечивающие величину шероховатости поверхности $R_a = 0,57 \dots 1,16 \text{ мкм}$, относительную опорную длину профиля $t_{60} = 70 \dots 82 \%$ и высоту волнистости $W_z = 3 \dots 5 \text{ мкм}$. Показана возможность управления величиной шероховатости поверхности за счёт изменения скорости перемещения РК и стабилизации её величины за время нескольких рабочих ходов.

Установлено, что при обработке вала в центрах 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 и y_3 и их расположение $(x/l)_1, (x/l)_2$ и $(x/l)_3$ вдоль оси, определяющих величины максимальных систематических погрешностей, возникающих при обработке (рисунок 7).

$$\left. \begin{aligned} \Delta D_{10} &= 2(y_1 - y_0); & \Delta D_{21} &= 2(y_2 - y_1); & \Delta D_{20} &= 2(y_2 - y_0); \\ \Delta D_{32} &= 2(y_3 - y_2); & \Delta D_{30} &= 2(y_3 - y_0); & \Delta D_{43} &= 2(y_{01} - y_3); \\ \Delta D_{42} &= 2(y_{01} - y_2); & \Delta D_0 &= 2(y_{01} - y_0). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Из условия равенства упругих перемещений задней опоры вала и его оси в лимитирующем сечении ($y_2 = y_0$), впервые получены математические модели, позволяющие определить оптимальные диапазоны изменения диаметров заготовок валов и оптимальные варианты их базирования, обеспечивающие минимальную систематическую погрешность при их базировании в центрах (Ц–Ц) и её уменьшение в 1,8 и 3,5 раза при их базировании в патроне–центре (П–Ц) и патроне–патроне (П–П) (рисунок 8).

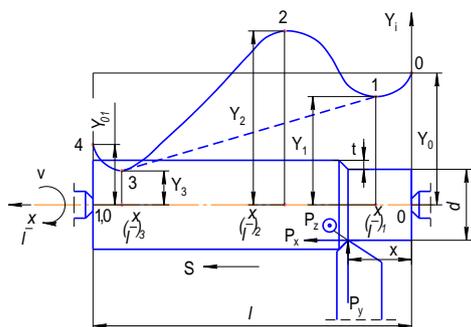
$$d_{1,2,3}^{\min} \geq \left[\frac{l^3 \cdot K_{\ddot{a}}}{1200 [\omega_{\zeta \dot{a}} (4 - K_{\zeta \dot{a}}) - \omega_{i \dot{a}} \cdot K_{i \dot{a}}]} \right]^{0,25}, \quad (16)$$

где $\omega_{\zeta \dot{a}}, \omega_{i \dot{a}}$ – податливость задней и передней бабки станка;

l – длина вала;

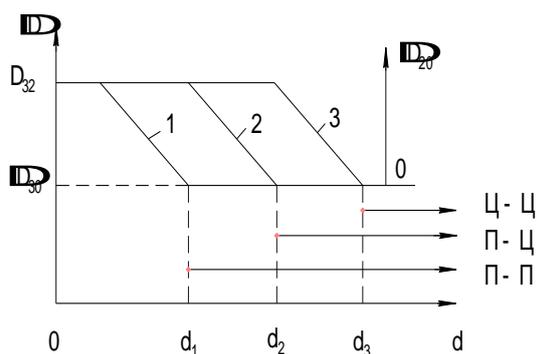
$K_{\zeta \ddot{b}}, K_{i \ddot{b}}, K_{\ddot{d}}$ – коэффициенты, учитывающие изменение нагрузки на заднюю, переднюю опоры и заготовку в зависимости от базирования.

$$\begin{aligned}
 (\text{Ц-Ц}) & - K_{\ddot{a}} = K_{\zeta} = K_{\dot{r}a} = 1,0; & (\text{П-Ц}) & - K_{\delta} = 0,4375; & K_{\dot{r}a} & = 1,375; \\
 K_{\zeta a} & = 0,625; & (\text{П-П}) & - K_{\zeta} = K_{\dot{r}a} = 1,0; & K_{\delta} & = 0,25.
 \end{aligned}$$



$Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_{01}$ – упругие перемещения оси вала при его точении на всю длину;
 P_x, P_y, P_z – составляющие силы резания

Рисунок 7 – 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 8 – Изменение погрешности обработки ΔD от диаметра обрабатываемого вала d

В пятой главе представлен анализ влияния деформации элементов ТС и износа призматического резца на точность получистовой и последующей чистовой обработок чашечным резцом с МОРК. Получены зависимости, определяющие отклонение профиля продольного сечения вала и диаметральную погрешность обработки при достижении точности различными методами настройки резца на размер и количество настроек, оптимальные режимы обработки на операциях и жесткость оборудования на чистовой операции с учётом режимов резания на двух смежных финишных операциях, износа призматического резца, изменение глубины резания в результате упругой деформации ТС и коэффициента уточнения размера, обеспечивающие заданную точность.

Установлено, 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.

Выполненные исследования позволили провести оптимизацию режимов чистовой обработки резцом с МОРК с использованием целевой функции – производительности и себестоимости операции, обеспечивающих повышение производительности до 26 % при соблюдении точности обработки по 8 качеству, шероховатость поверхности $R_a \leq 1,0 \text{ мкм}$ с возможностью её регулирования за счёт режимов резания и изменения скорости микроперемещения РК. Показана перспективность применения после чистового точения резцом с МОРК, вместо полирования, финишной обработки выглаживающим торковым роликом, обеспечивающей шероховатость поверхности $R_a = 0,37...0,4 \text{ мкм}$.

Результаты выполненной работы внедрены в производство ЗАО «Промышленная лизинговая компания» при обточке конической поверхности расточных резцов с годовым экономическим эффектом в размере 4868964 р. и РУП «Могилевский завод «Строммашина» при обработке штоков гидроцилиндров с годовым экономическим эффектом в размере 14692135 р., полученным в результате замены шлифования и полирования чистовым точением чашечным резцом и обкатыванием роликом.

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 и повышение в 1,5...2 раза точности обработки [1–А; 2–А].

2. Впервые для чашечного резца с МОРК при чистовой обработке получена математическая модель по определению величины износа, удельного периода стойкости и максимального количества рабочих ходов РК, позволяющая выбирать оптимальные диапазоны изменения показателя степени $n_0 \leq 0,58...0,68$ 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–А; 11–А].

3. Разработаны статистические модели процесса чистовой обработки чашечным резцом с МОРК, устанавливающие влияние режимов обработки на силовые и теплоэнергетические характеристики процесса. Выявлено, что скорость V_p перемещения РК уменьшает, а все другие параметры режима резания увеличивают составляющие силы резания, энергоемкость процесса и температуру. Установлено, что увеличение скорости перемещения 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. Установлены оптимальные соотношения между подачей S и глубиной резания t , обеспечивающие до 18 % уменьшение силовых и энергетических параметров процесса [9–А; 12–А; 13–А; 14–А].

4. Предложена математическая и разработана статистическая модель формирования микрорельефа обрабатываемой поверхности чашечным резцом с МОРК, позволившие установить, что наибольшее влияние на величину шероховатости оказывает скорость V_p перемещения РК, количество ее рабочих ходов N и подача S , обеспечивающие на установленных оптимальных режимах обработки величину шероховатости $R_a = 0,57...1,16 \text{ мкм}$ и относительную опорную длину профиля $t_{60} = 70...82 \text{ %}$ [10–А].

Показана возможность стабилизации шероховатости обрабатываемой поверхности на одном уровне при увеличении числа рабочих ходов РК за счет увеличения ее скорости перемещения.

5. В результате исследований упругих перемещений оси заготовки в процессе обработки выявлены новые закономерности их изменения и получены аналитические зависимости для определения величин и расположения экстремальных точек упругих перемещений оси заготовки по ее длине, позволившие установить максимальные систематические погрешности при различных вариантах ее базирования [4–А; 5–А].

6. Получены математические модели, позволяющие определить опти-

мальные 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–А; 5–А].

7. С целью прогнозирования погрешности обработки на двух смежных: получистовой и чистовой операциях получены математические зависимости, позволяющие установить влияние режимов резания, жесткости элементов ТС и износа лезвия призматического резца на точность выполняемой 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–А; 7–А; 8–А; 13–А].

8. Создан новый способ чистовой обработки чашечным резцом с МОРК, предусматривающий обновление РК, отличающийся увеличением скорости её перемещения пропорционально корню квадратному из числа рабочих ходов 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 $V = 180 \dots 245$ м/мин и скорости перемещения РК $V_p = 10 \dots 42,5$ мкм/с с последующим обкатыванием торovým накатником, обеспечивающие в комплексе величину шероховатости $0,37 \dots 0,4$ мкм по критерию R_a и точность 8-го качества [4–А; 5–А; 9–А; 10–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Применение методики определения величины износа и показателя степени n_0 интенсивности изнашивания задней поверхности резца от времени резания позволяет определить оптимальные пределы изменения скорости резания и рабочую геометрию инструмента, обеспечивающие увеличенный период его установившегося износа [1–А; 2–А; 3–А; 9–А; 10–А].

2. Использование методики вычисления износостойкости чашечного резца с МОРК позволяет определить оптимальный диапазон изменения скорости резания, обеспечивающий минимальное увеличение износа лезвия при многократном обновлении РК [2–А; 3–А; 4–А].

3. Разработанные математические модели процесса обработки резцом с МОРК рекомендуется использовать при назначении оптимальных режимов обработки для достижения минимального энергопотребления, требуемой точности и шероховатости [5–А; 6–А; 7–А; 8–А; 11–А; 14–А].

4. Использование методики прогнозирования точности при обработке валов позволяет выбрать оптимальный вариант их базирования для обеспечения необходимой точности [6–А].

5. Использование методики определения погрешностей на двух смежных получистовой и чистовой операциях позволяет осуществить выбор оптимальных значений режимов резания и жесткостей элементов ТСР для получения необходимой точности [6–А; 7–А; 8–А; 13–А].

6. Использование разработанной методики для определения максимальной производительности и минимальной себестоимости позволяет на стадии подготовки производства осуществлять выбор оптимальных значений режимов чистовой обработки для получения необходимых значений выходных параметров: точности, шероховатости и температуры наивысшей стойкости инструмента [9–А].

7. 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 19561099 р. [6–А].

Список публикаций соискателя

Статьи в научных журналах

1–А. **Шатуров, Г. Ф.** Исследование процесса изнашивания токарного инструмента / Г. Ф. Шатуров, В. А. Лукашенко, Д. Г. Шатуров // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2006. – № 3. – С. 113–118.

2–А. **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–А. **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–А. 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–А. Исследование закономерностей формообразования поверхностей заготовок валов при точении / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, Э. И. Ясюкович, Д. Г. Шатуров // Зб. наук. пр. «Процеси механічної обробки в машинобудуванні». – Житомир. – 2006. – Вып. 3. – С. 102–111.

6–А. Управление точностью при совмещённой токарной обработке резанием и обкатыванием / Ж. А. Мрочек, Г. Ф. Шатуров, А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 119–126.

7–А. 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–А. **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–А. **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. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 40–48.

10–А. **Шатуров, Д. Г.** Формирование шероховатости поверхностей валов при точении чашечным резцом с микрообновляемой режущей кромкой / Д. Г. Шатуров // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 113–121.

11–А. **Жолобов, А. А.** Износ чашечного резца с микрообновляемой режущей кромкой / А. А. Жолобов, Д. Г. Шатуров // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 27–31.

Статьи в сборниках научных трудов

12–А. **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. : Вып. 24. – Гродно, 2006. – Ч. 1. – С. 155–160.

13–А. **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.

14–А. **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

15–А. **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, 2005. – С. 20–21.

16–А. **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.

17–А. **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.

18–А. **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.

19–А. **Шатуров, Д. Г.** Управление точностью при обработке валов на токарных станках с ЧПУ / Д. Г. Шатуров // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 17–18 апр. 2008 г. – Могилев, 2008. – Ч. 1. – С. 67–68.

20–А. **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.

21–А. **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.

22–А. **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.

23–А. **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.

24–А. **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.

Патенты

25–А. 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.

26–А. 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.

27–А. 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. – № 7076. – 5 с.

РЭЗІЮМЭ

Шатураў Дзяніс Генадзьевіч

Тэхналагічнае забеспячэнне якасці такарнай апрацоўкі валоў на аснове прагназіравання зносу інструмента і калянасці тэхналагічнай сістэмы

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

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

Мэта працы: тэхналагічнае забеспячэнне геаметрычных характарыстык якасці фарміруемых паверхняў дэталеў класа валы ў працэсе паўчыставой і чыстай апрацоўкі з выкарыстаннем прызматычных і чашачных разцоў з МАРА на аснове аптымізацыі параметраў працэсу і прагназіравання іх эфектыўнасці на этапе праектавання тэхналагічных аперацый.

Распрацаваны метадыкі прагназіравання 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 МАРА, які дазваляе за кошт аптымізацыі рэжымаў рэзанання 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 шурпатасці паверхні ў межах $R_a = 0,57...1,16$ мкм.

Распрацавана метадыка прагназіравання 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 дэталеў тыпу валы.

РЕЗЮМЕ

Шатуров Денис Геннадьевич

Технологическое обеспечение качества токарной обработки валов на основе прогнозирования износа инструмента 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: технологическое обеспечение геометрических характеристик качества формируемых поверхностей деталей класса валы в процессе получистой и чистовой обработок с использованием призматических и чашечных резцов с МОРК на основе оптимизации параметров процесса и прогнозирования их эффективности на этапе проектирования технологических операций.

Разработаны методики прогнозирования износа, периодов износа и скоростей изнашивания и стойкости призматического и чашечного резцов, позволяющие осуществить выбор режимов обработки, геометрических параметров инструмента при получистой 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 $R_a = 0,57...1,16 \text{ мкм}$.

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

Technological Quality Assurance of Shaft Turning 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: technological assurance of geometric characteristics of quality of shaft parts surfaces to be generated during semi-finish and finish turning with the use of prismatic and cup tools with a micro-renewed cutting edge based on optimization of the process parameters and prediction of their efficiency at the stage of manufacturing operations development.

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.