

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.941.2–229.88:669.15

КУПТЕЛЬ
Владимир Георгиевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СТАБИЛЬНОГО СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА
ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ
И ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Минск, 2012

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель **Каштальян Иван Алексеевич**, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Данилов Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «Полоцкий государственный университет»;

Туромша Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Защита состоится 15 июня в 14⁰⁰ часов на заседании совета Д 02.05.03 по защите диссертаций при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 6, ауд. 419 тел. ученого секретаря: 292 24 04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «14» мая 2012 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор

Девойно О. Г.

© Куптель В.Г., 2012

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Более 70 % всех деталей машиностроения относятся к классу «тела вращения», а наиболее распространенным методом их получения в настоящее время является токарная обработка. Причем до 90 % заготовок деталей этого класса обрабатывается на токарных станках с ЧПУ или станках-автоматах различной конструкции. При организации процесса механической обработки заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей на таком оборудовании наиболее острой является проблема обеспечения дробления стружки и достижения требуемого качества обработанной поверхности. Стружка неблагоприятной формы является причиной поломок инструмента и снижения качества обработанной поверхности изделия, препятствует автоматизации процесса обработки и может стать потенциальным источником травматизма обслуживающего персонала. Одним из наиболее эффективных и перспективных способов дробления сливной стружки является вибрационное резание. При этом методе обработки на обычно принятую для данной операции кинематическую схему накладывается дополнительное направленное вибрационное движение инструмента относительно заготовки, источником которого может быть либо специальный вибропривод, либо автоколебания, возникающие непосредственно в процессе резания. Анализ публикаций в периодических изданиях и проведенный патентный поиск показал, что в последнее время данному вопросу уделяется пристальное внимание в таких странах, как Россия, Украина, Япония, США и др., что подтверждает актуальность и перспективность использования методов и устройств вибрационного резания в различных отраслях машиностроения. При этом установлено, что применение известных конструкций устройств для осуществления процесса вибрационного точения ограничено из-за их громоздкости и сложности настройки; узкого диапазона режимов резания; отсутствия динамической связи между источником колебаний и режущим инструментом; низкой стойкости инструмента; большой мощности привода; недостаточной изученности вопросов обеспечения заданной точности и качества обработанной поверхности, а разрозненные экспериментальные и теоретические исследования, посвященные отдельным схемам, не дают ответа на вопрос о целесообразности широкого применения способов вибрационного резания в металлообработке. В связи с этим создание технологических условий для возникновения и поддержания вибрационного движения режущей кромки инструмента в зоне его контакта с обрабатываемой поверхностью при токарной обработке заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей, обеспечивающих стабильное стружкодробление и параметры качества представляет собой актуальные научно-практические задачи, имеющие важное значение для общего машиностроения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Основные результаты, составляющие содержание диссертационной работы, отражены в отчетах выполненных заданий: 2.21 ГНТП «Станки и инструмент» «Исследовать и разработать конструкции инструментов повышенной стойкости для формирования обрабатываемых поверхностей с заданными параметрами качества и надежным стружкодроблением при токарной обработке» (№ГР 2000961, 1998–1999 гг.); №СИ 6.23–01 ГНТП «Станки и инструмент» «Исследовать, разработать и создать систему управления производительностью, точностью и формообразованием стружки при обработке высоколегированных и конструкционных сталей на универсальном и автоматизированном оборудовании» (№ГР 20014164, 2001–2002 гг.); НИР ГБ №08–28 «Разработка средств технологического оснащения и управления параметрами точности, качества и дозированного стружкодробления при вибрационном точении высокопластичных материалов» (№ГР 200810820, 2008–2009 гг.).

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

Цель и задачи исследования

Целью работы является технологическое обеспечение стабильного стружкодробления и параметров качества при вибрационном точении конструкционных и высоколегированных сталей.

Для достижения указанной цели необходимо решить *следующие задачи*:

- разработать устройства и измерительный комплекс для проведения экспериментальных исследований по определению влияния интенсивности вводимых в зону резания колебаний на выходные параметры обработки;
- разработать математические модели механизма возбуждения и поддержания в зоне резания вибраций необходимой интенсивности и направления для различных кинематических схем токарной обработки;
- разработать математическую модель функционирования системы инструмент–акустический преобразователь с присоединенной массой для чистового точения;
- на основании математических моделей и результатов моделирования разработать конструкции устройств и инструментов для вибрационного точения

ния, обеспечивающие стабильное дробление стружки, и определить области их применения для обработки конструкционных и высоколегированных сталей;

– установить функциональные зависимости между интенсивностью возбуждаемых вибраций и выходными параметрами процесса резания (качеством обработанной поверхности и стойкостью режущего инструмента);

– на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработать и внедрить в производство технологическую операцию вибрационного точения и оснастку для ее реализации, обеспечивающую стабильное дробление стружки и получение поверхностей с заданными параметрами качества.

Объект исследования – вибрационное точение, которое является одним из наиболее эффективных и перспективных способов дробления сливной стружки при обработке конструкционных и высоколегированных сталей.

Предметом исследования является механизм и устройства возбуждения и поддержания в зоне резания вибраций, обеспечивающие стабильное стружкодробление и параметры качества.

Положения, выносимые на защиту

1. Математические модели механизма возбуждения и поддержания в зоне резания вибраций посредством создания наименьшей регулируемой жесткости в направлении движения подачи за счет установки упругих элементов, учитывающие кинематическую схему обработки, конструктивные параметры инструментов и режимы резания, которые на этапе проектирования операции вибрационного точения позволяют выявлять условия для возникновения колебаний необходимой интенсивности и описывать траектории перемещения режущей кромки инструмента.

2. Математическая модель функционирования системы инструмент–акустический преобразователь с присоединенной массой, устанавливающая взаимосвязь между конструктивными параметрами державки режущего инструмента, интенсивностью возбуждаемых колебаний и величиной присоединенной массы и позволяющая для заданных технологических условий обработки определять значение возникающей при взаимодействии режущей кромки с заготовкой импульсной силы, обеспечивающей стабильное дробление стружки.

3. Результаты компьютерного моделирования траекторий перемещения режущей кромки инструмента при вибрационном точении, которые в зависимости от условий обработки (кинематической схемы и режимов резания) и конструктивных параметров инструментов для вибрационного точения позволяют определять необходимую жесткость упругих элементов для возникновения и поддержания в зоне резания колебаний.

4. Результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния амплитуды возбуждаемых в зоне резания колебаний на процесс стружкодроб-

ления при продольном наружном точении, позволяющие для конкретных технологических условий обработки (марки обрабатываемой стали, режимов резания) определять минимальную амплитуду колебаний, обеспечивающую стабильное дробление стружки.

5. Экспериментальные и теоретические закономерности, устанавливающие функциональную взаимосвязь между интенсивностью (амплитудой и частотой) возбуждаемых в зоне резания колебаний и качеством обработанной поверхности (точностью диаметральных размеров и формы, шероховатостью), а также стойкостью режущего инструмента, которые использованы при определении области применения операции вибрационного точения заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей и технологической оснастки для ее реализации.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты работы представлены на следующих международных научно-технических конференциях: Международная научно-техническая конференция «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении», Минск, 2001 г., 2002 г., 2004 г., 2008 г., 2009 г.; Международная научно-техническая конференция «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки», Ростов-на-Дону, 2008 г.; Международная научно-техническая конференция «Инновации в машиностроении», Минск, 2008 г.; VII Международная научно-техническая конференция «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин», Новополоцк, 2009 г.; Международная научно-практическая конференция-выставка «Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня», Санкт-Петербург, 2009–2011 гг.; Международная научно-техническая конференция «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки», Минск, 2011 г.; Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в машиностроении», посвященная 35-летию машиностроительного факультета ПГУ, Новополоцк, 19–20 октября 2011 г.

Личный вклад соискателя

Лично соискателем разработаны математические модели механизма возбуждения в зоне резания вибраций, учитывающие кинематическую схему обработки, конструктивные параметры инструментов и режимы резания и позволяющие проектировать устройства, обеспечивающие возникновение и поддержание в зоне резания вибрационного движения режущей кромки инструмента, необходимой интенсивности и направления. Для проведения экспериментальных исследований автором разработаны измерительный комплекс и устройство

для измерения параметров колебаний в элементах системы возбуждения одиночных акустических импульсов. Получены и обработаны результаты экспериментальных исследований по определению влияния интенсивности вводимых в зону резания колебаний на процесс дробления стружки и выходные параметры обработки (точность, качество поверхности, стойкость инструмента). Разработаны технологическая операция вибрационного точения и прогрессивная технологическая оснастка для ее реализации.

Постановка целей и задач исследований, анализ полученных результатов проводились совместно с д-м техн. наук, профессором [Присевком А.Ф.] и научным руководителем д-м техн. наук Каштальяном И.А. Канд. техн. наук Минченя Н.Т. принимал участие в разработке устройств и инструментов вибрационного точения и измерительной аппаратуры для исследования параметров вибраций. Соавторы работы осуществляли консультации и оказывали практическую помощь на всех этапах выполнения данной работы.

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах, в том числе в 3 статьях, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 1,9 авторского листа, 7 сборниках, материалах и тезисах докладов научных конференций, получен 1 патент.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка из 103 наименований (в том числе 17 публикаций соискателя), изложенного на 10 страницах, и 14 приложений на 35 страницах. Работа представлена на 190 страницах, в том числе 145 страниц основного текста, содержащего 68 рисунков (на 34 с.) и 8 таблиц (на 3 с.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе приведен анализ работ в области обеспечения дробления стружки при токарной обработке и применения методов и устройств вибрационного резания, обоснованы цель и задачи исследования.

В результате проведенного анализа существующих методов и устройств для дробления стружки с позиций универсальности, простоты изготовления и эксплуатации, а также достижения требуемого эффекта показано, что одним из наиболее перспективных способов дробления сливной стружки является вибрационное точение. Разработана классификация существующих способов вибрационного точения по виду вибраций режущего инструмента, который устанавливает частоту колебаний и их направление, и по типу вибропривода, определяющего конструктивные особенности устройств для формирования вибраций. На основании анализа выполненной классификации показано, что для достижения стабильного стружкодробления целесообразно использовать механизм воз-

буждения в зоне резания колебаний режущей кромки инструмента в направлении подачи, источником которых является непосредственно процесс резания, а для управления формой и размерами стружки вводить в зону резания одиночные акустические импульсы с регулируемой скважностью.

Сделан вывод о том, что для обеспечения стабильного стружкодробления при вибрационном точении необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования по определению технологических условий и конструктивных параметров устройств, обеспечивающих возникновение и поддержание в зоне резания вибрационного движения режущей кромки инструмента, необходимой интенсивности и направления; установить функциональные взаимосвязи между интенсивностью колебаний и процессом формирования и дробления стружки, качеством обработанной поверхности и стойкостью режущего инструмента, на основании которых разработать и внедрить в производство технологическую операцию вибрационного точения и оснастку для ее реализации.

Во второй главе описаны методики, материалы и оборудование, примененные в экспериментальных исследованиях.

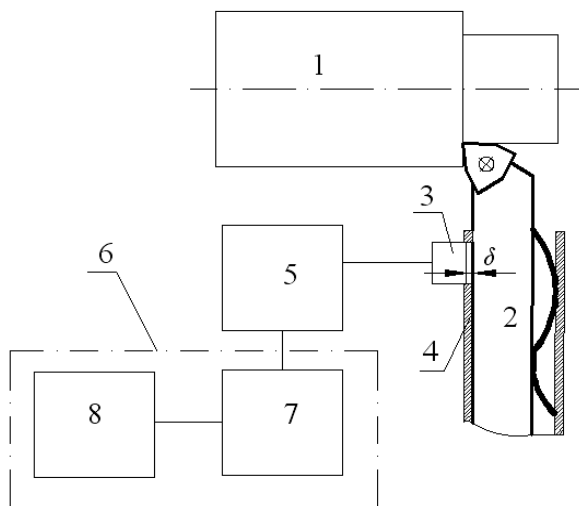
Обосновано, что для проведения экспериментальных исследований целесообразно использовать заготовки из сталей, которые широко распространены в промышленности и имеют различные коэффициенты обрабатываемости (сталь 45, 40ХН, 18ХГТ). При этом в качестве объекта исследований для получения общей зависимости влияния режимов резания на минимальную амплитуду колебаний A_{\min} обеспечивающую стабильное стружкодробление, а также влияния интенсивности колебаний на физические параметры процесса вибрационного точения были выбраны заготовки из стали 45, так как данный материал принят в качестве эталонного металла при определении показателей обрабатываемости металлов резанием (коэффициент обрабатываемости $k_M = 1$).

Установлены диапазоны режимов резания ($S_0 = 0,05\text{--}0,4$ мм/об; $V_p = 70\text{--}130$ м/мин; $t_p = 0,5\text{--}3$ мм) в которых при токарной обработке заготовок из этих материалов для достижения стабильного стружкодробления необходимо применять различные по форме и геометрии многогранные неперетачиваемые пластины (МНП), а также специальные державки, что значительно увеличивает номенклатуру инструмента и стоимость механической обработки.

На основании анализа схем обработки резанием для экспериментальных исследований выбрано продольное наружное точение упорно-проходными резцами, работающими в условиях несвободного прямоугольного резания. С целью обеспечения постоянства геометрических параметров предложено использовать твердосплавные пластины шестигранной формы марки Т15К6 с лунками для дробления стружки без покрытий со следующими геометрическими параметрами: главный угол в плане $\varphi_{\text{н}} = 95^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_{\text{н1}} = 5^\circ$,

задний угол $\alpha = 8^\circ$, передний угол $\gamma = 12^\circ$, а обработку проводить без применения смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС).

Для экспериментальных исследований влияния интенсивности возбуждаемых в зоне резания колебаний на выходные параметры обработки разработан измерительный комплекс (рисунок 1), позволяющий регистрировать виброграммы перемещения вершины режущей кромки инструмента и соответствующие им спектральные плотности.



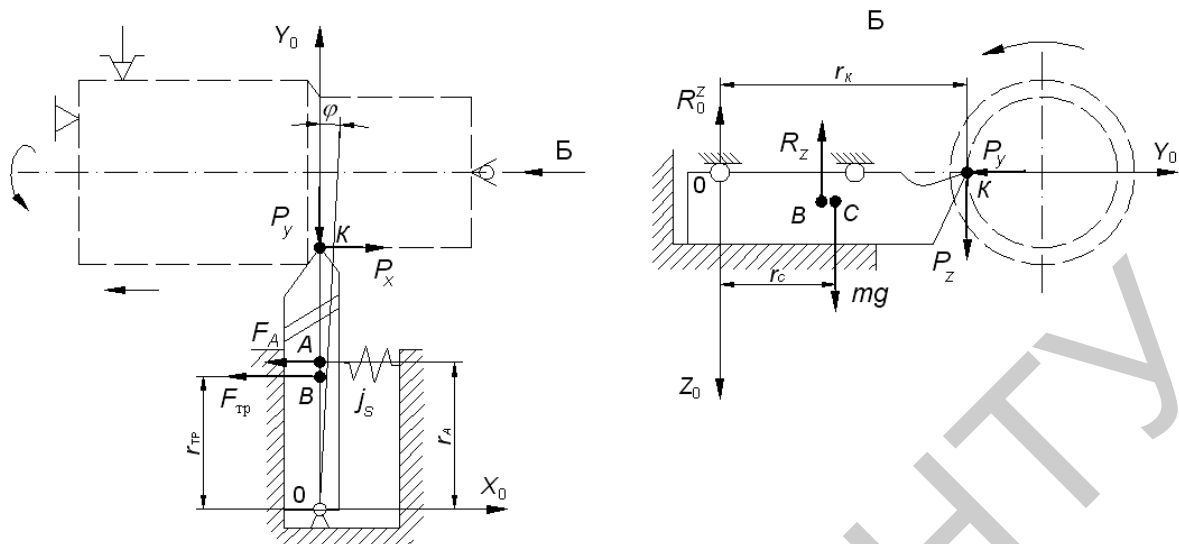
- 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – резец;
- 3 – индуктивный датчик; 4 – державка;
- 5 – блок измерения малых перемещений;
- 6 – система технической диагностики;
- 7 – микропроцессорный блок; 8 – компьютер

Рисунок 1 – Схема комплекса для измерения параметров вибраций

Для процесса чернового и получистового наружного точения разработана математическая модель возбуждения и поддержания колебаний режущей кромки инструмента посредством установки между резцом и корпусом державки упругого элемента, создающего в направлении движения подачи наименьшую регулируемую жесткость. Расчетные схемы представлены на рисунках 2 и 3. В соответствии с приведенными схемами составлена система уравнений для определения суммарного линейного и углового перемещения вершины резца (на основании принципа Даламбера). В результате ее преобразований получено уравнение движения вершины режущей кромки инструмента (точка K)

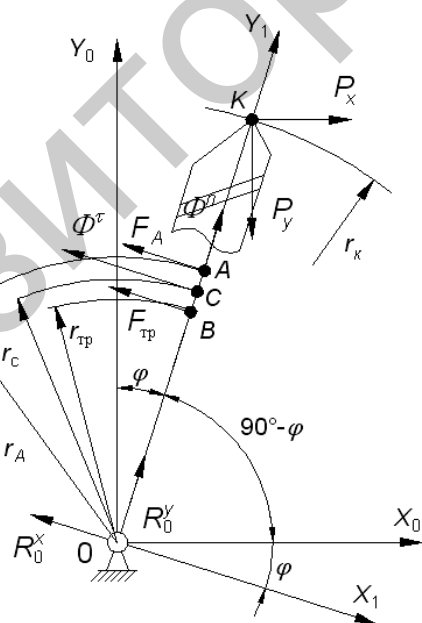
$$(J_0^z + m r_C r_K) \ddot{\varphi} - j_s \dot{\varphi} \cdot r_A (r_A - r_K) = F_{тр} (r_{тр} - r_K) - R_0^x r_K + (M_{тр}^0)_z, \quad (1)$$

где J_0^z – момент инерции резца относительно оси Oz , проходящей через точку O , кг/мм²; $(M_{тр}^0)_z$ – момент трения относительно точки O по оси z , Н·мм.



φ – угол поворота резца вокруг оси z (обобщенная координата); P_x, P_y, P_z – составляющие (проекции) силы резания, Н; $F_A = j_s \varphi \cdot r_A$ – сила упругости, Н; $F_{тр}$ – сила трения, Н; R_0^z – реакция в шарнирной опоре по оси z , Н; R_z – нормальная реакция, Н; j_s – жесткость упругого элемента, Н/мм; r_A – расстояние до точки приложения силы упругости пружины, мм; $r_{тр}$ – расстояние до точки приложения силы трения, мм; r_c – расстояние до центра тяжести системы (масс), мм; r_k – расстояние до вершины режущего инструмента, мм; m – масса колеблющейся системы, кг; g – ускорение свободного падения, m/c^2

Рисунок 2 – Схема точения с вибрациями в осевом направлении



R_0^x и R_0^y – реакции в шарнирной опоре по соответствующим осям, Н; Φ^r и Φ^n – нормальная и касательная составляющие сил инерции

Рисунок 3 – Расчетная схема действующих сил при точении с вибрациями в осевом направлении

Так как уравнение (1) является неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением 2-го порядка, то его решение можно представить как сумму общего решения соответствующего однородного уравнения φ_1 и частного решения неоднородного уравнения $\bar{\varphi}$: $\varphi = \varphi_1 + \bar{\varphi}$. После преобразований и с учетом начальных условий окончательно решение уравнения (1) запишется в виде

$$\varphi(t) = \left(-\frac{-F_{\text{тр}}(r_{\text{тр}} - r_K) + R_0^x r_K - (M_{\text{тр}}^0)_z}{j_s \cdot r_A (r_A - r_K)} + \varphi_0 \right) \cos \left(t \sqrt{\frac{j_s r_A (r_K - r_A)}{J_0^z + m r_C r_K}} \right) + \varphi_0 \sqrt{\frac{J_0^z + m r_C r_K}{j_s r_A (r_K - r_A)}} \sin \left(t \sqrt{\frac{j_s r_A (r_K - r_A)}{J_0^z + m r_C r_K}} \right) + \frac{-F_{\text{тр}}(r_{\text{тр}} - r_K) + R_0^x r_K - (M_{\text{тр}}^0)_z}{j_s \cdot r_A (r_A - r_K)}. \quad (2)$$

Уравнение, аналогичное (1), было получено из уравнения Лагранжа II рода

$$J_0^z \ddot{\varphi} - (P_y r_K - j_s \cdot r_A^2) \dot{\varphi} = -F_{\text{тр}} r_{\text{тр}} + P_x r_K. \quad (3)$$

Компьютерное моделирование уравнений (2) и (3) посредством пакета Mathematica показало, что наибольшее влияние на условия дробления стружки оказывают составляющая силы резания P_x , жесткость упругого элемента j_s и габаритные размеры инструмента. Поэтому для практических целей нами предложено использовать упрощенную схему колебательной системы (рисунок 4).

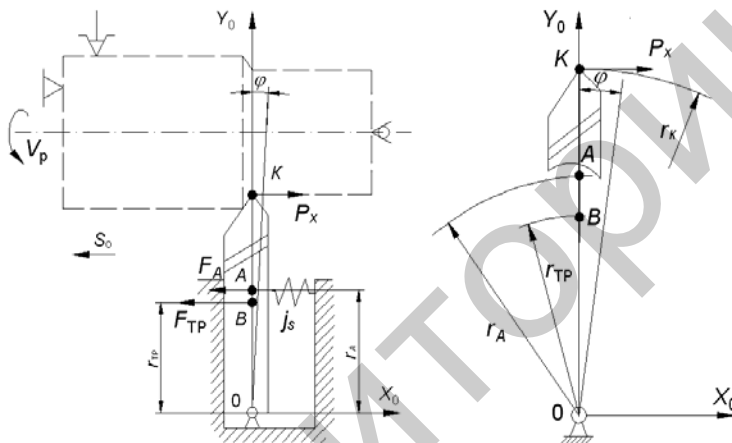


Рисунок 4 – Расчетная схема колебательной системы при вибрационном точении с осевой подачей

определить из дифференциального уравнения вынужденных колебаний при наличии сопротивления

$$I \ddot{\varphi} + \lambda \dot{\varphi} \cdot r_{\text{тр}} + j_s \varphi \cdot r_A = P_x \cdot r_K \cdot \cos(pt). \quad (4)$$

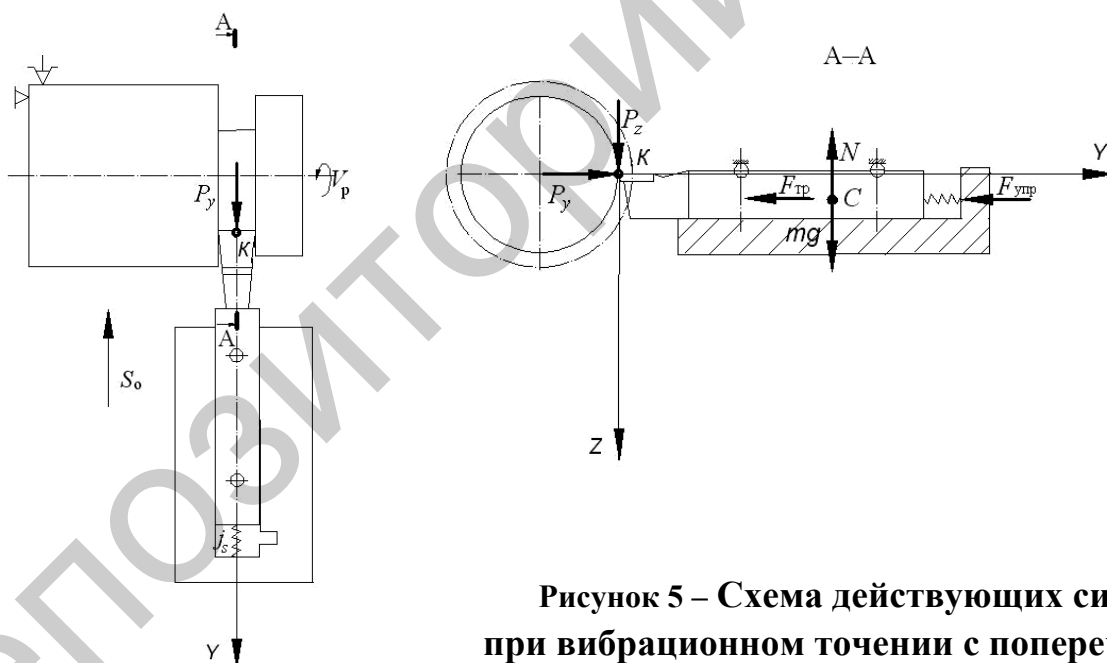
В результате выполненного компьютерного моделирования посредством пакета Mathematica в соответствии с уравнением (4) доказана возможность реализации траекторий движения режущей кромки инструмента, обеспечивающих переменное сечение срезаемого слоя при продольном наружном точении. Полученные при этом расчетные траектории движения вершины режущей кромки

обеспечивают адекватность (не менее 85 %) траекториям, записанным на виброграммах при проведении экспериментальных исследований с помощью измерительного комплекса (рисунок 1). При этом установлено, что для поддержания необходимой интенсивности вибраций при изменении осевой составляющей силы резания P_x от 350 Н до 650 Н жесткость упругих элементов j_s должна соответствовать диапазону 200–350 Н/мм.

Для определения динамического поведения режущей кромки инструмента при выполнении отрезных и прорезных работ разработана математическая модель процесса точения с вибрациями в радиальном направлении (рисунок 5).

На основании уравнения Лагранжа II рода было получено дифференциальное уравнение малых колебаний резца $m \ddot{y} = -j_s y + P_y - F_{\text{тр}}$. В результате его решения установлена зависимость для определения текущего значения толщины срезаемого слоя $y(t)$ при вибрационном точении с поперечной подачей.

$$y(t) = -\frac{P_y - F_{\text{тр}}}{j_s} \cos\left(t \sqrt{\frac{j_s}{m}}\right) + \frac{P_y - F_{\text{тр}}}{j_s} = \frac{P_y - F_{\text{тр}}}{j_s} \left(1 - \cos\left(t \sqrt{\frac{j_s}{m}}\right)\right). \quad (5)$$



Полученное уравнение (5) позволяет для заданных конструктивных параметров инструментов и режимов резания на стадии проектирования операции вибрационного точения прогнозировать и описывать траектории вибрационного движения режущей кромки, обеспечивающих переменное сечение срезаемого слоя. Результаты компьютерного моделирования показали, что основное влияние на траекторию перемещения режущей кромки инструмента при вибрационном точении с поперечной подачей оказывают радиальная составляющая силы резания P_y и жесткость упругого элемента j_s .

Для процесса чистового наружного точения разработана математическая модель функционирования системы инструмент–акустический преобразователь с присоединенной массой, которая позволяет определять конструктивные параметры и технологические условия, обеспечивающие возбуждение и поддержание в зоне резания вибрационного движения режущей кромки инструмента (необходимой интенсивности и направления) без проведения длительных экспериментальных исследований. В результате проведенного численного моделирования посредством пакета MathCAD выявлена взаимосвязь между конструктивными параметрами державки режущего инструмента (поперечным сечением державки, расстоянием от места ввода колебаний до вершины режущей кромки), интенсивностью возбуждаемых колебаний и величиной присоединенной массы, что позволяет оптимизировать для заданных технологических условий обработки величину инерционной силы, воздействующей на обрабатываемую заготовку.

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что при согласовании акустических параметров системы инструмент–акустический преобразователь и элементов крепления инструмента в резцедержателе станка возбуждение и поддержание необходимой для стабильного дробления стружки величины импульсной силы достигается при мощностях генератора 400–600 Вт. При этом управление длиной элементов образующейся стружки $l_{з.с}$ (в диапазоне 30–80 мм) достигается регулированием скважности одиночных акустических импульсов Q_n соответственно в диапазоне $10 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^3$.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса вибрационного точения заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей.

На основании выполненных экспериментальных исследований установлено, что для конкретных технологических условий обработки заготовок с введением в зону резания направленных колебаний существует минимальная амплитуда колебаний $A_{\min} = 0,05$ – $0,07$ мм, которая обеспечивает стабильное дробление стружки. Увеличение амплитуды $A > 0,1$ мм существенно не влияет на стабильность формирования и дробления стружки, но при этом отмечается ухудшение шероховатости обработанной поверхности и снижение периода стойкости инструмента на 15–20 %. Получены экспериментальные зависимости влияния режимов резания (S_o , t_p и V_p), а также главного угла в плане инструмента φ_n на A_{\min} для обработки исследуемых материалов. В результате выполненного полного факторного эксперимента 2^3 получена математическая модель для определения минимальной амплитуды A_{\min} при продольном наружном точении заготовок из стали 45: $y = -0,0081 + 0,1486S_o + 0,011t_p + 0,000343V_p$.

Выполненный статистический анализ распределения диаметральных размеров заготовок, обработанных инструментами для вибрационного точения, показал, что при обработке на токарных станках, имеющих жесткость суппортной группы не менее 22000 Н/мм, достижимая точность диаметральных размеров соответствует 8–9-му качеству. При этом погрешности формы поверхностей деталей (отклонение от круглости и конусообразность), обработанных вибрационным точением, соизмеримы с погрешностями формы поверхностей деталей, обработанных стандартными токарными инструментами.

В результате экспериментальных исследований установлено, что шероховатость обработанной поверхности при вибрационном точении зависит от амплитуды вводимых в зону резания колебаний A , подачи S_0 и параметра $\chi_{\text{ч}}$ (отношения частоты колебаний f к частоте вращения заготовки $n_{\text{шп}}$). В результате выполненного полного факторного эксперимента 2^3 получена математическая модель для определения влияния параметров колебаний и режимов резания на шероховатость поверхности при вибрационном точении заготовок из стали 45: $y = 11,81 + 90,83S_0 - 57,93\chi_{\text{ч}} + 215,63A$, анализ которой показывает, что наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает амплитуда вводимых в зону резания колебаний (с увеличением A наблюдается рост значений R_z). При этом обработку рекомендуется производить на меньших значениях S_0 (аналогично традиционному точению) и задавать частоты колебаний f , близкие к частоте вращения заготовки $n_{\text{шп}}$ или кратные ей (для обеспечения дробления стружки частота колебаний f должна отличаться от параметра $\chi_{\text{ч}}$ на $\pm 5-7\%$).

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что наибольшее влияние на период стойкости инструмента оказывает амплитуда колебаний. Выявлены оптимальные значения амплитуд колебаний, при которых стойкость инструмента максимальна: $A_{\text{опт}} = 8-15$ мкм в диапазоне частот 1800–2100 Гц и $A_{\text{опт}} = 40-60$ мкм в диапазоне частот 8–100 Гц. Увеличение или уменьшение амплитуды колебаний в каждом из частотных диапазонов приводит к снижению периода стойкости инструмента на 15–20 %. Характер износа при вибрационном точении проявлялся в образовании шероховатой и неровной фаски по задним поверхностям и мелких выкрашиваний и сколов на передней поверхности инструмента. При введении в зону резания колебаний с оптимальной амплитудой $A_{\text{опт}} = 40$ мкм (для диапазона частот 8–100 Гц) выявлено уменьшение износа по задней поверхности на 5–10 %, а также составляющих силы резания P_z и P_x и среднего значения температуры на 10–15 % по сравнению с традиционным точением. Это можно объяснить тем, что колебания такой интенсивности улучшают отвод стружки и облегчают процесс пластической деформации в зоне резания. Колебания с амплитудой $A = 100$ мкм не вызывали скалывания или выкрашивания режущей кромки, но при этом возрастала ши-

рина площадки износа h_3 на 15–20 %. Обработка с амплитудами $A > 150$ мкм приводила к разрушению режущей пластины, что может быть обусловлено недостаточной прочностью режущей грани при циклическом нагружении.

Разработана математическая модель для определения относительного размерного износа инструмента при вибрационном точении. В результате расчета посредством пакета MathCAD получена зависимость для определения относительного размерного износа при вибрационном точении конструкционной стали 45, инструментом с материалом режущей части Т15К6 $h_o = 1,035t_p^{0,041} V_p^{0,374} S_o^{-0,0003} A^{0,0015}$, которая использована для расчета величины составляющей погрешности обработки, вызванной износом режущего инструмента при вибрационном точении, а также для определения оптимальных режимов резания и параметров вводимых в зону резания колебаний.

В пятой главе представлены разработанная технологическая операция вибрационного точения и оснастка для ее реализации.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны конструкции резцовых державок для проходных (СИ 2.21.0001СБ) и отрезных (СИ2.21.0002СБ) инструментов, создающих в направлении движения подачи наименьшую регулируемую жесткость, и изготовлены опытные образцы инструментов для осуществления вибрационного точения. Разработана конструкция (СИ6.23.0000СБ) и изготовлен опытный образец системы инструмент–акустический преобразователь, которая предназначена для чистового вибрационного точения заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей. Определены области применения разработанных устройств и инструментов для вибрационного точения при продольном наружном точении заготовок из сталей марок 45, 40ХН, 18ХГТ ($t_p = 1,5–3,5$ мм; $S_o = 0,15–0,4$ мм/об – для получистовой обработки и $t_p = 0,25–1,5$ мм; $S_o = 0,05–0,2$ мм/об – для чистовой обработки). Разработаны рекомендации по проектированию и практической реализации технологической операции вибрационного точения, позволяющие обеспечить стабильное стружкодробление, параметры качества и повышенную стойкость инструмента при обработке заготовок из указанных материалов.

В результате проведенных лабораторных и опытно-производственных испытаний установлено, что предлагаемая технологическая оснастка для вибрационного точения обеспечивает: стабильное и управляемое стружкодробление; повышение производительности обработки (на 10–15 %); повышение стойкости режущего инструмента (на 15–20 %); получение поверхностей с заданными параметрами точности и качества. Результаты выполненной работы внедрены в производство на ОАО «МЗОР» с суммарным годовым экономическим эффектом в размере 4,37 млн рублей (в ценах 2010 г.) и на ДУП «Белгидравлика» с ожидаемым годовым экономическим эффектом – 7,9 млн рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложены математические модели механизма возникновения и поддержания в зоне резания направленных колебаний, учитывающие кинематическую схему обработки и конструктивные параметры инструментов и позволяющие в зависимости от заданных режимов резания прогнозировать и описывать траектории движения режущей кромки инструмента. В результате выполненного компьютерного моделирования доказана возможность реализации траекторий движения режущей кромки инструмента, обеспечивающих переменное сечение срезаемого слоя при продольном наружном точении и отрезке заготовок. Установлено, что для поддержания необходимой интенсивности вибраций при изменении осевой составляющей силы резания P_x от 350 Н до 650 Н жесткость упругих элементов j_s должна соответствовать диапазону 200–350 Н/мм (для продольного наружного точения).

2. Предложена математическая модель функционирования системы инструмент–акустический преобразователь с присоединенной массой устанавливающая взаимосвязь между конструктивными параметрами инструмента (поперечным сечением державки, расстоянием от места ввода колебаний до вершины режущей кромки), интенсивностью возбуждаемых колебаний и величиной присоединенной массы. В результате численного анализа разработанной модели и выполненных экспериментальных исследований установлено, что при согласовании акустических параметров системы инструмент–акустический преобразователь и элементов крепления инструмента в резцедержателе станка возбуждение и поддержание необходимой для стабильного дробления стружки величины импульсной силы, воздействующей со стороны режущей кромки инструмента на заготовку, достигается при мощностях генератора 400–600 Вт. При этом управление длиной элементов образующейся стружки $l_{э.с}$ (в диапазоне 30–80 мм) достигается регулированием скважности одиночных акустических импульсов Q_i соответственно в диапазоне $10 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^3$ [1, 5, 6, 11].

4. В результате выполненных экспериментальных исследований влияния режимов резания и амплитуды возбуждаемых в зоне резания колебаний на процесс формирования и дробления стружки установлено, что для конкретных технологических условий обработки существует минимальная амплитуда колебаний A_{\min} , которая обеспечивает стабильное дробление стружки (для стали 45 $A_{\min} = 0,05$ – $0,07$ мм). Увеличение амплитуды (для стали 45 $A > 0,1$ мм) существенно не влияет на стабильность формирования и дробления стружки, но при этом отмечается ухудшение шероховатости обработанной поверхности и снижение периода стойкости инструмента на 15–20 %. Получены экспериментальные функциональные зависимости, устанавливающие взаимосвязь между режимами резания (S_o , t_p и V_p), главным углом в плане φ_i инструмента и мини-

мальной амплитудой колебаний A_{\min} при обработке заготовок из исследуемых марок сталей (сталь 45, 40ХН, 18ХГТ) [4, 8].

5. Выполненный статистический анализ распределения диаметральных размеров заготовок, обработанных инструментами для вибрационного точения, показал, что при обработке на токарных станках, имеющих жесткость суппортной группы не менее 22000 Н/мм, достижимая точность диаметральных размеров соответствует 8–9-му качеству. При этом погрешности формы поверхностей деталей (отклонение от круглости и конусообразность), обработанных вибрационным точением, соизмеримы с погрешностями формы поверхностей деталей, обработанных стандартными токарными инструментами. В результате экспериментальных исследований установлено, что шероховатость обработанной поверхности при вибрационном точении зависит от амплитуды вводимых в зону резания колебаний A , подачи S_0 и параметра $\chi_{\text{ч}}$ (отношения частоты колебаний f к частоте вращения заготовки $n_{\text{шп}}$). Из них наибольшее влияние оказывает амплитуда колебаний A (с увеличением A наблюдается рост значений R_z). При этом обработку рекомендуется производить на меньших значениях S_0 (аналогично традиционному точению) и задавать частоты колебаний f , близкие к частоте вращения заготовки $n_{\text{шп}}$ или кратные ей (для обеспечения дробления стружки частота колебаний f должна отличаться от параметра $\chi_{\text{ч}}$ на $\pm 5\text{--}7\%$) [3, 8, 12].

6. В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что наибольшее влияние на период стойкости инструмента оказывает амплитуда колебаний. Выявлены оптимальные значения амплитуд колебаний, при которых стойкость инструмента максимальна: $A_{\text{опт}} = 8\text{--}15$ мкм в диапазоне частот 1800–2100 Гц и $A_{\text{опт}} = 40\text{--}60$ мкм в диапазоне частот 8–100 Гц. Увеличение или уменьшение амплитуды колебаний в каждом из частотных диапазонов приводит к снижению периода стойкости инструмента на 15–20 %. При введении в зону резания колебаний с оптимальной амплитудой $A_{\text{опт}} = 40$ мкм (для диапазона частот 8–100 Гц) выявлено уменьшение износа по задней поверхности на 5–10 %, а также составляющих силы резания P_z и P_x и среднего значения температуры на 10–15 % по сравнению с традиционным точением, что можно объяснить тем, что колебания такой интенсивности улучшают отвод стружки и облегчают процесс пластической деформации в зоне резания. Колебания с амплитудой $A = 100$ мкм не вызывали скалывания или выкрашивания режущей кромки, но при этом возрастала ширина площадки износа h_z на 15–20 %. Обработка с амплитудами колебаний $A > 150$ мкм приводила к разрушению режущей пластины, что обусловлено недостаточной прочностью грани режущей пластины при циклическом нагружении [7, 8, 13, 14, 15].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Обоснованы методики экспериментальных исследований и оценки их результатов для сравнительного анализа обработки заготовок при традиционном

и вибрационном точении. Для исследования влияния интенсивности колебаний, возбуждаемых в зоне резания, на выходные параметры обработки разработан измерительный комплекс, позволяющий регистрировать виброграммы перемещения вершины режущей кромки инструмента и соответствующие им спектральные плотности. Предложена конструкция устройства, обеспечивающего введение в зону резания направленных одиночных акустических импульсов с регулируемой скважностью, что позволило исследовать влияние параметров колебаний на процесс формирования и дробления стружки [1, 2, 4, 5, 9, 11, 17].

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны конструкции резцовых державок для проходных (СИ 2.21.0001СБ) и отрезных (СИ2.21.0002СБ) инструментов, создающих в направлении движения подачи наименьшую регулируемую жесткость, и изготовлены опытные образцы инструментов для осуществления вибрационного точения заготовок при продольном наружном точении и выполнении отрезных работ. Разработана конструкция (СИ6.23.0000СБ) и изготовлен опытный образец системы инструмент–акустический преобразователь, предназначенной для чистового вибрационного точения заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей. Определены области применения разработанных устройств и инструментов вибрационного точения для обработки заготовок из сталей марок 45, 40ХН, 18ХГТ при продольном наружном точении без применения СОТС. Установлено, что вибрационное точение в диапазонах режимов резания: $t_p = 1,5–3,5$ мм; $S_o = 0,15–0,4$ мм/об – для получистовой обработки и $t_p = 0,25–1,5$ мм; $S_o = 0,05–0,2$ мм/об – для чистовой обработки обеспечивает стабильность технологического процесса, что в свою очередь гарантирует выпуск годной продукции при наличии среднестатистических отклонений параметров процесса и размеров заготовок, поступающих на обработку [8, 16].

С целью технологического обеспечения стабильного стружкодробления и параметров качества при обработке конструкционных и высоколегированных сталей предложена последовательность проектирования и разработки операции вибрационного точения, которая позволяет управлять уровнем интенсивности возбуждаемых колебаний и использовать их энергию для обеспечения стабильного дробления стружки [10].

Результаты проведенных лабораторных и опытно-производственных испытаний показали, что предлагаемая технологическая оснастка для вибрационного точения обеспечивает: стабильное и управляемое стружкодробление; повышение производительности обработки (на 10–15 %); повышение стойкости режущего инструмента (на 15–20 %); получение поверхностей с заданными параметрами точности и качества.

Результаты выполненной работы внедрены в производство на ОАО «МЗОР» с суммарным годовым экономическим эффектом в размере

4,37 млн рублей и на ДУП «Белгидравлика» с ожидаемым годовым экономическим эффектом в размере 7,9 млн рублей, а также используются в учебном процессе при подготовке студентов, магистрантов и аспирантов БНТУ по специальностям 1-36 01 01 – «Технология машиностроения» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Результаты работы могут быть применены на предприятиях машино-, приборо- и станкостроения Республики Беларусь и стран СНГ, где осуществляется токарная обработка заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей.

Список публикаций соискателя по теме диссертации

Статьи в научных журналах и сборниках, входящих в перечень ВАК

1. Минченя, Н.Т. Об определении оптимальной мощности генератора высокочастотных акустических колебаний для вибрационного точения / Н.Т. Минченя, В.Г. Куптель // Машиностроение : сб. науч. тр. / Белорус. гос. политехн. акад.; под ред. И.П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2001. – Вып. 17. – С. 42–47.

2. Соловей, С.А. Влияние режимов резания на процесс дробления стружки при продольном наружном точении / А.А. Соловей, В.Г. Куптель // Машиностроение : сб. науч. тр. / Белорус. гос. политехн. акад. ; под ред. И.П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2001. – Вып. 17. – С. 68–71.

3. Куптель, В.Г. Влияние амплитуды колебаний на показатели качества обработанной поверхности при вибрационном точении / В.Г. Куптель, Ю.В. Драгун, А.А. Соловей // Машиностроение : сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т ; под ред. И.П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2002. – Вып. 18. – С. 134–138.

4. Куптель, В.Г. Исследование процесса управления стружкодроблением при введении в зону резания одиночных акустических импульсов / В.Г. Куптель // Машиностроение : сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т ; под ред. И.П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2002. – Вып. 18. – С. 138–142.

5. Куптель, В.Г. Об определении конструктивных параметров режущих инструментов для вибрационного точения / В.Г. Куптель // Машиностроение : сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т ; под ред. И.П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2004. – Вып. 20, Т. 2. – С. 119–122.

6. Куптель, В.Г. Моделирование параметров системы «инструмент-акустический преобразователь» для вибрационного точения / В.Г. Куптель // Горная механика. – 2006. – № 3. – С. 11–15.

7. Куптель, В.Г. Исследование стойкости инструмента при вибрационном резании / В.Г. Куптель // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2006. – № 6. – С. 121–123.

8. Шелег, В.К. Вибрационное точение : возможность и перспективы обработки крупногабаритных деталей из пластичных материалов / В.К. Шелег, А.Ф. Присевок, В.Г. Куптель // Тяжелое машиностроение. – 2008. – № 3. – С. 21–23.

Статьи в научных журналах и сборниках

9. Куптель, В.Г. Токарная обработка деталей из различных материалов режущими инструментами с устройством для дискретного резания / В.Г. Куптель, А.Ф. Присевок, Н.Т. Минченя // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин : сб. науч. трудов. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т., 1999. – С. 331–334.

Материалы конференций

10. Куптель, В.Г. Методика управления интенсивностью автоколебаний для токарных и расточных операций / В.Г. Куптель, А.Ф. Присевок // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения : материалы междунар. 54-й науч.-техн. конф. профессоров, преподавателей, науч. работников и аспирантов БГПА, Минск, 2000 г. : в 10 ч. / БГПА ; редкол.: Ж.А. Мрочек [и др.]. – Минск, 2000. – Ч. 5. – С. 87.

11. Моделирование колебательной системы при вибрационном точении высокопластичных материалов / А.Ф. Присевок, Н.Т. Минченя, Д.А. Степаненко, В.Г. Куптель // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин : сб. науч. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. : в 3 т. / под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т., 2009. – Т. 2 – С. 268–274.

12. Технологическое обеспечение параметров точности при вибрационном точении деталей из высокопластичных материалов / В.К. Шелег, А.Ф. Присевок, В.Г. Куптель, И.А. Каштальян // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня : материалы 12-й Междунар. науч.-практич. конф.-выставки, Санкт-Петербург, 13–16 апреля 2010 г. / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет ; под общ. ред. Н.А. Соснина, П.А. Тополянского. – СПб., 2010. – С. 452–456.

13. Куптель, В.Г. Физические параметры процесса вибрационного точения / В.Г. Куптель, И.А. Каштальян // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня : материалы 13-й Междунар. науч.-практич. конф.-выставки, Санкт-Петербург, 14–17 апреля 2011 г. / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет ; под общ. ред. Н.А. Соснина, П.А. Тополянского. – СПб., 2011. – С. 427–431.

14. Куптель, В.Г. Силы резания при вибрационном точении / В.Г. Куптель, И.А. Каштальян, В.К. Шелег // Инновационные технологии в машиностроении : материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 35-летию машиностроительного фак. ПГУ, Новополоцк, 19–20 октября 2011 г. / Полоц. гос. ун-т. ; под общ. ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк, 2011. – С. 58–60.

Тезисы докладов

15. Куптель, В.Г. Размерная стойкость инструмента при вибрационном точении / В.Г. Куптель, И.А. Каштальян // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки : тез. докл. междунар. науч.-практич. конф., Минск, 12–13 апреля 2011 г. / НАН Беларуси, Бел. нац. техн. ун-т ; редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск : Бизнесофсет, 2011. – С. 101–103.

Патенты Республики Беларусь и поданные заявки на патенты

16. Резцовая державка : пат. 3046 Респ. Беларусь, МПК⁶ В 23 В 29/034 / А.Ф. Присевок, В.Г. Куптель, М.М. Кривомаз, В.А. Федорцев, Г.Я. Беляев, Н.Т. Минченя, А.Н. Лаврентьев, Д.М. Прохоренко ; заявитель Белорус. гос. политех. акад. – № 970420 ; заявл. 01.08.1997 ; опубл. 30.09.1999 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1999. – № 3. – С. 103–104.

17. Бесконтактный индуктивный датчик линейных перемещений : заявка на патент № а 20011078, МПК G 01 В / В.Г. Иванов, В.В. Веренчук, Н.Т. Минченя, В.Г. Куптель, Г.Я. Беляев, А.Ф. Присевок, С.Л. Карпович. – заявл. 18.12.2001 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 2. – С. 62.

РЭЗІЮМЭ Купцель Уладзімір Георгіевіч

Тэарэтычнае і тэхналагічнае забеспячэнне стабільнага стружкадраблення і параметраў якасці пры вібрацыйным тачэнні канструкцыйных і высокалегіраваных сталяў

Ключавыя словы: вібрацыйнае тачэнне, стружкадрабленне, параметры дакладнасці і якасці, прылады і інструменты для вібрацыйнага тачэння, устойлівасць рэжучага інструмента.

Мэтай работы з'яўляецца тэхналагічнае забеспячэнне стабільнага стружкадраблення і параметраў якасці пры вібрацыйным тачэнні канструкцыйных і высокалегіраваных сталяў.

Метады даследавання. Пры правядзенні даследаванняў выкарыстоўваліся фундаментальныя палажэнні тэорыі рэзанання і тэхналогіі машынабудавання, матэматычны апарат мадэлявання; метады лікавага аналізу і матэматычнай статыстыкі; пакеты праграм Mathematica і MathCAD.

Выкананы аналіз тэхналагічных умоў і канструктыўных параметраў прылад, якія забяспечваюць узнікненне і падтрыманне ў зоне рэзанання вібрацыйнага руху рэжучага канта інструмента, неабходнай інтэнсіўнасці і кірунку, і вызначана магчымасць кіравання працэсам драблення стружкі, параметрамі дакладнасці і якасці апрацоўваемых паверхняў пры вібрацыйным тачэнні. Распрацаваны матэматычныя мадэлі, якія даюць магчымасць вызначаць (лікава мадэляваць) траекторыі руху рэжучага канта інструмента і выбіраць у залежнасці ад умоў апрацоўкі рацыянальныя канструктыўныя і тэхналагічныя параметры інструментаў і прылад для вібрацыйнага тачэння. Атрыманы эксперыментальныя заканамернасці, якія ўстанаўліваюць функцыянальную ўзаемасувязь паміж інтэнсіўнасцю ўзбуджаемых хістанняў і выхаднымі параметрамі працэсу рэзанання (якасцю паверхні і стойкасцю інструмента), што могуць быць выкарастаны пры праектаванні аперацыі вібрацыйнага тачэння.

Распрацаваны канструкцыі прылад і інструментаў для вібрацыйнага тачэння, якія забяспечваюць стабільнае стружкадрабленне, зададзеныя параметры якасці і стойкасць інструмента пры апрацоўцы заготовак з канструкцыйных і высокалегіраваных сталяў.

На аснове выкананых тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў распрацаваны і ўкаранёны ў вытворчасць тэхналагічная аперацыя і аснастка для яе рэалізацыі, якія могуць быць выкарыстаны на прадпрыемствах машына-, прыбора- і станкабудавання Рэспублікі Беларусь і краін СНД.

РЕЗЮМЕ

Куптель Владимир Георгиевич

Теоретическое и технологическое обеспечение стабильного стружкодробления и параметров качества при вибрационном точении конструкционных и высоколегированных сталей

Ключевые слова: вибрационное точение, стружкодробление, параметры точности и качества, устройства и инструменты для вибрационного точения, стойкость режущего инструмента.

Целью работы является технологическое обеспечение стабильного стружкодробления и параметров качества при вибрационном точении конструкционных и высоколегированных сталей.

Методы исследования. При проведении исследований использовались фундаментальные положения теории резания и технологии машиностроения; математический аппарат моделирования; методы численного анализа и математической статистики; пакеты программ Mathematica и MathCAD.

Выполнен анализ технологических условий и конструктивных параметров устройств, обеспечивающих возникновение и поддержание в зоне резания вибрационного движения режущей кромки инструмента, необходимой интенсивности и направления и установлена возможность управления процессом дробления стружки, параметрами точности и качества обрабатываемых поверхностей при вибрационном точении. Разработаны математические модели, позволяющие определять (численно моделировать) траектории движения режущей кромки инструмента и выбирать в зависимости от условий обработки рациональные конструктивные и технологические параметры инструментов и устройств для вибрационного точения. Получены экспериментальные закономерности, устанавливающие функциональную взаимосвязь между интенсивностью возбуждаемых колебаний и выходными параметрами процесса резания (качеством поверхности и стойкостью инструмента), которые могут быть использованы при проектировании операции вибрационного точения.

Разработаны конструкции устройств и инструментов для вибрационного точения, обеспечивающие стабильное стружкодробление, заданные параметры качества и стойкость инструмента при обработке заготовок из конструкционных и высоколегированных сталей.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены в производство технологическая операция вибрационного точения и оснастка для ее реализации, которые могут быть использованы на предприятиях машино-, приборо-, и станкостроения Республики Беларусь и стран СНГ.

SUMMARY

Kuptel Vladimir Georgievich

Theoretical and Technological Provision For Stable Chipbreaking and Quality Characteristics in vibration Turning Structural and High Alloy Steel

Key words: vibration turning, chipbreaking, precision and quality characteristics, equipment and tools for vibration turning, cutting tool life.

The goal of the research is the technological provision for stable and quality characteristics in vibration turning structural and high alloy steel.

Methods of research. In doing research fundamental principles of cutting theory and mechanical engineering technology; mathematical tools of modeling; methods of numerical analysis and mathematical statistics; Mathematica and MathCAD program packages were used.

The technological conditions and design parameters of the equipment enabling and maintain in cutting zone the vibrational motion of the tool cutting edge that has the necessary intensity and direction were studied and precision and quality characteristics of the surfaces being machined in vibration turning was determined. Mathematical models allowing the path of the tool cutting edge to be determined (to numerically modeled) and efficient design and technological parameters of tools and equipment for vibration turning to be chosen depending on the machining conditions were developed. In the experiment the principles determining the functional relationship between the intensity of exited vibration and such cutting parameters as surface quality and cutting tool life were obtained, which can be used in designing vibration turning.

The design of the equipment and cutting tools for vibration turning enabling stable chipbreaking, the preset quality characteristics and tool life in machining the workpieces of structural and high alloy steels was developed.

On the basis of theoretical and experimental studies the technological operation of vibration turning and the tooling for its implementation were developed and put into production, which can used at the plants of mechanical engineering, instruments making and machine tool industries of the Republic of Belarus and other countries of CIS.

Научное издание

КУПТЕЛЬ Владимир Георгиевич

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СТАБИЛЬНОГО СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА
ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ
И ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Подписано в печать 10.05.2012.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл.печ.л.1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 60. Заказ 573.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный
технический университет. ЛИ №02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимо-
сти, 65. 22013, г. Минск.