

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.941.1:621.835

ДАНИЛЬЧИК
Сергей Сергеевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ
И ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРИ ТОЧЕНИИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ
СТАЛЕЙ С НАЛОЖЕНИЕМ АСИММЕТРИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ИНСТРУМЕНТА**

Автореферат

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

Минск, 2016

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель **Шелег Валерий Константинович**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Данилов Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусского национального технического университета; **Лебедев Владимир Яковлевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией физики поверхностных явлений государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 27 мая в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп 1, а.202, тел. ученого секретаря (+375 17) 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета

Автореферат разослан «26»апреля 2016 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций Д02.05.03,
доктор технических наук, профессор

О.Г. Девойно

© Данильчик С.С., 2016

© Белорусский национальный
технический университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным методом обработки деталей класса «тела вращения» является токарная обработка. Сливная стружка, образуемая в процессе точения конструкционных углеродистых и легированных сталей, имеющих высокую вязкость, считается неблагоприятной, так как она наматывается на инструмент и обрабатываемую заготовку, что затрудняет ее удаление из зоны резания и контроль процесса обработки, является источником травматизма рабочих. При попадании стружки под режущую кромку инструмента возможно снижение его стойкости и качества обработки. Кроме того, сливная стружка имеет большой объем, что усложняет процесс уборки, увеличивает затраты на складирование и транспортировку. В связи с этим к числу наиболее острых проблем, возникающих при организации процесса резания конструкционных углеродистых и легированных сталей на токарных станках с ручным управлением, автоматизированном оборудовании и станках с ЧПУ, относится проблема управления формообразованием стружки и получения элементов необходимых размеров, для решения которой применяются различные методы и способы стружкодробления. Одним из наиболее эффективных методов борьбы со сливной стружкой является вибрационное резание, при котором обеспечивается стабильное стружкодробление, достигается точность обработки, сопоставимая с точностью при обычном резании, снижается температура в зоне резания и износ режущего инструмента. Несмотря на высокую эффективность процесса стружкодробления вибрационное резание, тем не менее, не получило широкого практического применения из-за сложности конструкции устройств для создания вибраций, трудоемкости настройки параметров колебательного движения инструмента и, главным образом, из-за увеличения шероховатости обработанной поверхности. Увеличение шероховатости связано с периодически повторяющимся возрастанием осевых расстояний между траекториями движения резца на смежных оборотах заготовки, что приводит к увеличению высоты гребешков микронеровности. В связи с этим появилась необходимость в разработке, исследовании и технологическом обеспечении новых способов резания с образованием дробленой стружки, связанных с переходом от традиционно симметричных к несимметричным (асимметричным) законам колебаний инструмента, лишенных отмеченных выше недостатков. Поэтому разработка теоретических основ процесса колебаний с асимметричным циклом и технологического обеспечения стружкодробления при точении конструкционных углеродистых и легированных сталей с асимметричными колебаниями инструмента является актуальной научно-практической задачей, решение которой имеет важное значение для машиностроительного производства.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Диссертационное исследование выполнялось в рамках ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы и технологии, наноматериалы и нанотехнологии в современной технике» (2011–2015 гг.), задание «Исследовать механизм формообразования стружки при точении конструкционных и легированных сталей с наложением асимметричных колебаний инструмента и разработать устройство для реализации управляемого процесса стружкодробления» (2013–2014 гг., №ГР 20130756). Основные результаты работы получили отражение в отчетах выполнения научно-исследовательских работ: ГБ №06–210 «Разработка и исследование методов вибрационного резания с асимметричным циклом колебаний режущего инструмента» (2006–2010 гг.), ГБ 11–276 «Исследование и разработка основ проектирования эффективных технологий и оборудования с применением вибрационных, упрочняющих и финишных методов обработки конструкционных материалов» (2011–2015 гг.).

Цель и задачи исследования

Целью исследования является технологическое обеспечение стружкодробления и параметров качества обработанных поверхностей при точении конструкционных углеродистых и легированных сталей с наложением асимметричных колебаний инструмента, позволяющее получить элементы стружки заданных размеров при соблюдении требований к шероховатости и точности обработки.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить ряд **задач**:

- обосновать целесообразность применения колебательных движений инструмента с асимметричным циклом для устойчивого стружкодробления в процессе точения конструкционных углеродистых и легированных сталей, исследовать кинематику точения с наложением на подачу инструмента асимметричных колебаний и установить зависимости, позволяющие определить значения параметров этих колебаний (частоты, периодов врезания и отвода инструмента в течение цикла), обеспечивающие дробление стружки на элементы требуемой длины;

- разработать математическую модель колебательного движения инструмента с асимметричным циклом, направленного вдоль осевой подачи, позволяющую установить для заданного коэффициента асимметрии цикла колебаний и их частоты взаимосвязь между силой резания, возмущающей силой и параметрами устройства для стружкодробления;

- на основании результатов исследования кинематики точения с асимметричными колебаниями и математического моделирования колебательного движения инструмента разработать экспериментальное устройство к токарному станку, обеспечивающее устойчивое стружкодробление;

– исследовать влияние коэффициента асимметрии цикла колебаний инструмента и режимов резания на минимальную амплитуду колебаний, шероховатость и точность обработанных поверхностей, стойкость режущего инструмента, на основании чего определить область применения точения с асимметричными колебаниями инструмента;

– разработать и внедрить технологическую операцию точения с асимметричными колебаниями инструмента и устройство, обеспечивающие устойчивое стружкодробление и заданные параметры качества обработанных поверхностей.

Научная новизна

1. Исходя из требований к точности и качеству поверхностей обрабатываемых деталей, обеспечения стойкости режущего инструмента, универсальности применения на токарном оборудовании для устойчивого стружкодробления в процессе обработки научно обоснован метод точения с асимметричными колебаниями инструмента, направленными вдоль осевой подачи. Установлено, что оптимальные значения частоты колебательных движений, периодов врезания и отвода резца в течение цикла колебаний находятся в зависимости от коэффициента асимметрии цикла и требуемой длины элементов стружки, что позволяет применить полученные зависимости для проектирования операции точения с асимметричными колебаниями.

2. Теоретически обосновано, что величина коэффициента асимметрии цикла колебаний инструмента влияет на максимальную высоту гребешков микронеровности, следовательно, и шероховатость поверхностей, получаемых точением с асимметричными колебаниями, причем установлено, что с увеличением асимметрии цикла колебаний высота гребешков уменьшается.

3. Разработана математическая модель колебательного движения инструмента с асимметричным циклом, направленного вдоль осевой подачи, устанавливающая взаимосвязь между осевой составляющей силы резания, возмущающей силой и параметрами устройства для стружкодробления, позволяющая определить требуемые величину и характер изменения возмущающей силы в течение цикла колебаний и жесткость возвратных пружин устройства для стружкодробления, обеспечивающих траекторию движения инструмента с заданными коэффициентом асимметрии цикла колебаний и частотой.

4. Разработаны регрессионные модели, отражающие результаты экспериментальных исследований и устанавливающие зависимость шероховатости поверхностей, обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента, от режимов резания и величины коэффициента

асимметрии цикла колебаний, позволяющие управлять путем подбора оптимальных их значений качеством обработанных поверхностей.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся:

1. Полученные в результате анализа кинематики процесса точения с асимметричными колебаниями инструмента зависимости частоты колебательных движений, величин периодов врезания и отвода в течение цикла колебаний от коэффициента асимметрии цикла, позволяющие на этапе проектирования операции точения определить оптимальные значения этих параметров, обеспечивающих устойчивое стружкодробление с образованием элементов стружки требуемой длины.

2. Математические зависимости, устанавливающие взаимосвязь между коэффициентом асимметрии цикла колебаний, максимальным расстоянием между траекториями движения инструмента на двух последовательных оборотах заготовки, измеренным в направлении подачи, и максимальной высотой микронеровностей, позволяющие оценить влияние коэффициента асимметрии цикла колебаний на шероховатость обработанных поверхностей и наметить способ ее снижения наряду с обеспечением устойчивого стружкодробления.

3. Математическая модель колебательного движения инструмента с асимметричным циклом, направленного вдоль осевой подачи, используемая при проектировании устройства для стружкодробления, устанавливающая взаимосвязь между осевой составляющей силы резания, возмущающей силой и параметрами устройства, позволяющая определить требуемые величину и характер изменения возмущающей силы в течение цикла колебаний и жесткость возвратных пружин, обеспечивающих траекторию движения инструмента с заданными коэффициентом асимметрии цикла колебаний и частотой.

4. Результаты экспериментальных исследований влияния амплитуды асимметричных колебаний инструмента на процесс стружкодробления, учитывающие изменение коэффициента асимметрии цикла колебаний, марку обрабатываемого материала и режимы резания, позволяющие определить минимальную амплитуду, обеспечивающую устойчивое дробление стружки.

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния коэффициента асимметрии цикла колебаний на качество обработанных поверхностей (шероховатость и макрогеометрию), точность диаметральных размеров и стойкость режущего инструмента, которые позволяют определить оптимальное значение коэффициента асимметрии цикла колебаний в зависимости от требований точности и качества, предъявляемых к обрабатываемым деталям.

Личный вклад соискателя ученой степени

Соискателем лично разработаны математическая модель колебательно-го движения инструмента с асимметричным циклом колебаний и конструкция исполнительного механизма устройства для стружкодробления. В процессе экспериментальных исследований соискателем получены результаты влияния амплитуды колебаний на устойчивость стружкодробления, режимов резания и коэффициента асимметрии цикла колебаний на силы резания, точность обработки и износ режущего инструмента, выведены зависимости шероховатости обработанной поверхности от коэффициента асимметрии цикла колебаний и режимов обработки. Разработаны рекомендации по практическому использованию метода точения с асимметричными колебаниями режущего инструмента.

Направление исследования было сформулировано канд. техн. наук, доцентом Молочко В.И. Совместно с ним были разработаны теоретические аспекты исследуемой проблемы. Постановка целей и задач исследований, анализ полученных результатов и их внедрение в производство выполнялись совместно с руководителем членом-корреспондентом НАН Беларуси, д-ром техн. наук, профессором Шелегом В. К.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Материалы исследования докладывались на следующих международных научно-практических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь», Минск, 2007, 2008, 2011, 2013 гг.; Международная научно-практическая конференция «Современные технологии и образование: проблемы, идеи, перспективы», 2014 г.; Международная научно-практическая конференция «Наука образованию, производству, экономике», Минск, 2006, 2007, 2009, 2011–2015 гг.; Международная научно-техническая конференция «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки», Минск, 2011, 2015 гг.; Международная научно-техническая конференция «Технология – оборудование – инструмент – качество», 2014 г.

Опубликование результатов диссертации

По материалам диссертационного исследования опубликованы 23 научные работы, в том числе 5 статей в рецензируемых научных журналах, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 2,13 авт. листов, 17 статей и тезисов докладов в сборниках материалов и тезисов докладов конференций, получен патент на изобретение.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти

глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 205 страниц. Диссертация содержит 58 рисунков, 11 таблиц, библиографический список из 127 наименований, 41 страницу приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе проведен анализ методов дробления стружки в процессе токарной обработки и устройств для их реализации, обоснованы цель и задачи исследования.

Изучение классификаций методов дробления стружки по различным классификационным признакам позволило сделать заключение, что наиболее компактная и содержательная классификация предложена Ахметшиным Н.И. Проведен анализ методов стружкодробления с позиции их универсальности, простоты реализации и достигаемых точности и качества обработанных поверхностей, который показал, что наиболее универсальным методом стружкодробления является вибрационное точение. Анализ работ в области вибрационного точения выявил, что оно обеспечивает надежное дробление стружки в широком диапазоне изменения обрабатываемых материалов и режимов резания, требуемую точность обработки, снижает температуру в зоне резания. Однако после вибрационного точения увеличивается шероховатость обработанных поверхностей, что ограничивает область его применения условиями черновой и получистовой обработки.

Для обеспечения устойчивого стружкодробления и снижения шероховатости поверхностей в процессе токарной обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей нами предложено на кинематическую схему точения накладывать дополнительные негармонические, а именно, асимметричные колебания инструмента, которые характеризуются коэффициентом асимметрии цикла

$$\xi = \frac{a}{b}, \quad (1)$$

где a и b – части оборота заготовки, соответствующие прямому (врезание) и обратному (отвод) ходу инструмента.

В связи с этим необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров колебательных движений инструмента с асимметричным циклом, установить взаимосвязь между ними и процессом дробления стружки, точностью, качеством обработанных поверхностей и стойкостью режущего инструмента.

Во второй главе рассмотрена кинематика точения с асимметричными колебаниями инструмента и разработана математическая модель колебательного движения с асимметричным циклом колебаний.

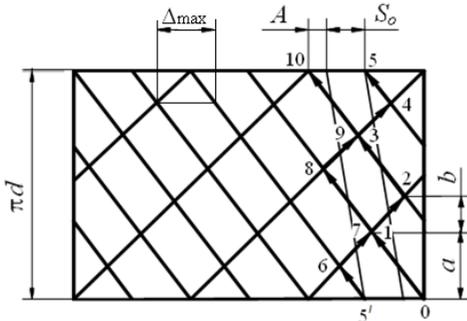


Рисунок 1. – Траектория движения инструмента при точении с асимметричными колебаниями

по вершинам 1 и 7, 3 и 9 и т.д., что приводит к периодическому прекращению процесса резания. Установлено, что для обеспечения минимальной амплитуды колебаний инструмента необходимо, чтобы за один оборот заготовки инструмент выполнил z полных циклов колебания и часть цикла, соответствующую периоду отвода инструмента b , что может быть записано равенством в виде:

$$z(a + b) + b = 1. \quad (2)$$

В этом случае величины a и b будут соответственно равны:

$$a = \frac{\xi}{z(\xi + 1) + 1}, \quad b = \frac{1}{z(\xi + 1) + 1}. \quad (3)$$

Причем колебания инструмента с параметрами цикла колебаний a и b будут обеспечены в том случае, если выполняется отношение частоты колебаний инструмента f к частоте вращения заготовки n в виде:

$$\frac{f}{n} = z + \frac{1}{\xi + 1}. \quad (4)$$

При значениях отношения $\frac{f}{n}$, не подчиняющихся этому равенству, для обеспечения дробления стружки необходимо увеличивать амплитуду колебаний.

На рисунке 1 представлена развертка поверхности диаметром d , на которой изображена траектория движения инструмента с коэффициентом асимметрии цикла колебаний $\xi=2$, подачей S_o и амплитудой колебаний A , имеющей минимальное значение, что уменьшает ее негативное влияние на качество обработанных поверхностей. Траектории движения резца на двух последовательных оборотах заготовки (к примеру, 0–5 и 5'–10) касаются

Поскольку отделяемый элемент стружки формируется и отрезается за один цикл колебательного движения инструмента, то число полных циклов колебаний при обработке заготовки диаметром d можно рассчитать по формуле

$$z = \frac{\pi d}{l_{\text{стр}} K_l} - \frac{1}{\xi + 1}, \quad (5)$$

где $l_{\text{стр}}$ – требуемая длина элементов стружки, мм, K_l – коэффициент продольной усадки стружки.

Влияние коэффициента асимметрии цикла и амплитуды колебаний инструмента на толщину стружки заключается в изменении максимальной толщины среза, которую можно определить произведением максимального расстояния между двумя последовательными траекториями резца относительно заготовки Δ_{max} (рисунок 1) на синус главного угла в плане φ . Максимальное расстояние Δ_{max} может быть определено по формулам:

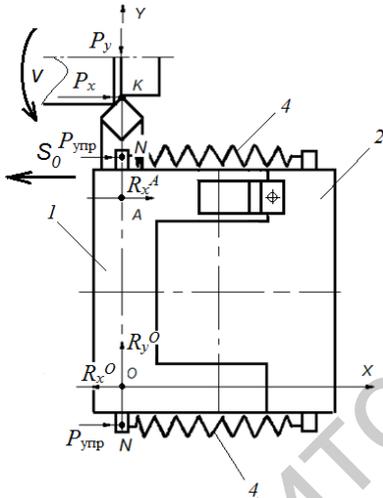
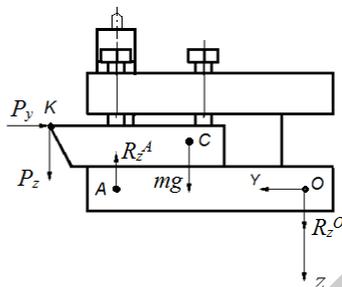
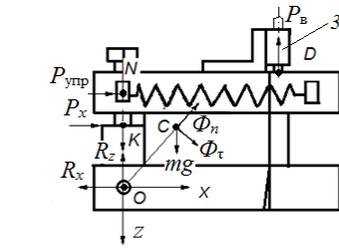
$$\Delta_{\text{max}} = S_o \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) - \text{для } \xi > 1, \quad (6)$$

$$\Delta_{\text{max}} = S_o (1 + \xi) - \text{для } \xi < 1.$$

Из уравнений (6) следует, что максимальное расстояние между траекториями резца за два последовательных оборота заготовки уменьшается с увеличением асимметрии цикла колебаний. Следовательно, должны снижаться максимальная высота гребешков микронеровностей. Правомерно предполагать, что уменьшение высоты гребешков микронеровностей приведет к снижению шероховатости обработанных поверхностей.

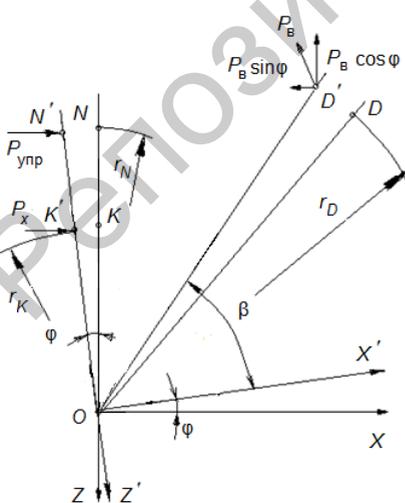
Для проведения экспериментальных исследований разработан исполнительный механизм устройства для стружкодробления, схематично показанный на рисунке 2, представляющий собой специальный резцедержатель к токарному станку. Согласно схеме инструмент совершает угловые колебания относительно оси Y , расположенной в горизонтальной плоскости перпендикулярно оси вращения заготовки и ниже вершины резца. Такие движения с небольшой амплитудой можно рассматривать как возвратно-поступательные движения в направлении продольной подачи. Схема колебательной системы, содержащая лишь силы, оказывающие наиболее значимое влияние на угол поворота резцедержавки относительно оси Y , а следовательно, на условия дробления стружки, представлена на рисунке 3. В соответствии с данной схемой колебательное движение инструмента вокруг оси Y можно описать уравнением:

$$J_y \ddot{\varphi} + \alpha \dot{\varphi} r_{\text{TP}} + j \varphi r_N^2 = M_B - M_x, \quad (7)$$



1 – резцедержавка, 2 – корпус, 3 – гидроцилиндр, 4 – пружины, P_x, P_y, P_z – составляющие силы резания, P_b – возмущающая сила, $P_{упр}$ – сила упругости пружин, Φ_n – нормальная сила инерции, Φ_t – касательная сила инерции, R_x, R_y, R_z – реакции опор, mg – сила тяжести, O и A – опоры, K – вершина резца, D – точка приложения возмущающей силы, N – точки приложения сил упругости пружин, C – центр тяжести

Рисунок 2. – Схема исполнительного механизма и приложения сил к резцедержавке



O – начало системы координат, φ – угол поворота резцедержавки, K и K' – положение вершины резца до и после поворота, N и N' – положение точки приложения силы упругости пружин до и после поворота, D и D' – положение точки приложения возмущающей силы до и после поворота, P_x – сила резания, P_b – возмущающая сила, $P_{упр}$ – сила упругости пружин, r_K, r_N, r_D – расстояние от оси Y до точек K, N и D , β – угол между осью X и перпендикуляром к оси Y , проходящим через точку D

Рисунок 3. – Расчетная схема приложения сил к резцедержавке

где J_y – момент инерции относительно оси Y , φ – угол поворота резцедержавки, α – коэффициент пропорциональности, $r_{тр}$ – плечо приложения сил трения, j – коэффициент упругости пружины, r_N – плечо приложения сил упругости, M_B – момент возмущающей силы, M_x – момент силы резания P_x .

В результате решения уравнения (7) получили математическую модель колебательного движения инструмента с размахом колебаний W и коэффициентом асимметрии цикла колебаний $\xi > 1$, которая имеет вид:

$$W = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{n_k (jr_N^2 - k^2 J_y) r_K}{(jr_N^2 - k^2 J_y)^2 + (k\alpha r_{тр})^2} \sin 2k\pi ft + \frac{(P_B + P_B') x_1 r_D \cos \beta - 2P_x x_1 r_K}{4\pi j r_N^2} r_K, \quad (8)$$

$$\text{где } n_k = \frac{P_B r_D \cos \beta}{\pi k^2 (x_1 - x_2)} \left(\frac{2x_1 - x_2}{x_2} \sin \frac{kx_1}{2} - \sin k \left(x_2 - \frac{x_1}{2} \right) \right) + \\ + \frac{P_B' r_D \cos \beta}{\pi k^2 x_2 (x_1 - x_2)} \left(x_1 \sin k \left(x_2 - \frac{x_1}{2} \right) + (x_1 - 2x_2) \sin \frac{kx_1}{2} \right) - \\ - \frac{P_x r_K}{k^2 \pi x_2} \left(3 \sin \frac{kx_1}{2} + \sin k \left(x_2 - \frac{x_1}{2} \right) \right),$$

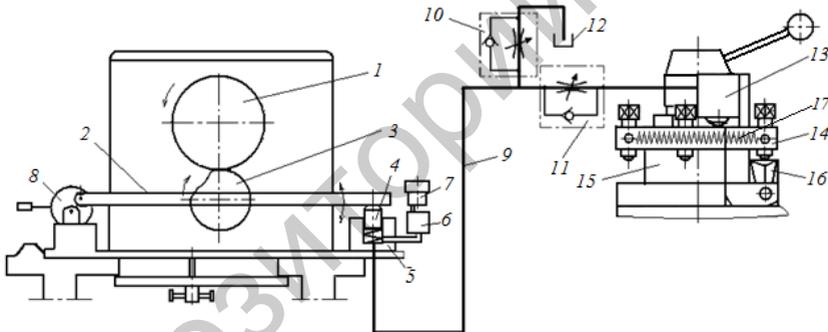
P_B' – значение силы P_B , соответствующей началу резания с максимальной толщиной среза.

Аналогичным образом была получена математическая модель для колебательного движения с коэффициентом асимметрии $\xi < 1$. Математическая модель позволяет для принятых размеров резцедержателя и силы резания P_x определить характер изменения возмущающей силы P_B и требуемую жесткость пружин, обеспечивающие необходимую траекторию и минимальную амплитуду колебательных движений инструмента с заданным коэффициентом асимметрии. Так, при точении с $P_x = 170\text{--}350$ Н для выполнения заданной траектории движения инструмента необходимо использовать пружины с жесткостью $j = 7,5$ Н/мм. Возмущающая сила P_B при этом изменяется в пределах от 85 до 180 Н. Соотношение между P_B и P_B' составляет 1,03, что должно и быть учтено при проектировании рабочего профиля кулачка, которым будут задаваться колебания инструмента.

В третьей главе дается обоснование выбора конструкционных материалов, режущего инструмента, оборудования для проведения экспериментальных исследований и методика проведения исследований.

Обосновано, что для проведения экспериментов целесообразно использовать стали, имеющие различные физико-механические свойства. Поэтому в качестве таких материалов приняты стали 45 и ШХ15, которые широко применяются в машиностроительном производстве. Для проведения исследований выбрано наружное продольное точение резцом, работающим в условиях несвободного косоугольного резания. С целью обеспечения стабильных геометрических параметров режущего инструмента в процессе экспериментальных исследований выбран резец с механическим креплением квадратных неперетачиваемых пластин (ГОСТ 19052-80) из сплава Т15К6. При установке пластины в корпус резца обеспечиваются углы в плане $\phi=45^\circ$ и $\phi_1=45^\circ$, передний угол $\gamma=15^\circ$ и задний угол $\alpha=15^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda=7^\circ$. Размеры державки резца 20x20 мм.

Для проведения исследований разработана конструкция устройства для стружкодробления к токарно-винторезному станку 16К20. Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 4.



1 – шпиндель, 2 – рычаг, 3 – кулачок, 4 – плунжер, 5 – гидронасос, 6 – клапанный блок, 7 – масляный бачок, 8 – двухпозиционный диск, 9 – рукав высокого давления, 10 – дроссель, 11 – дроссель, 12 – бак, 13 – гидроцилиндр, 14 – подвижная резцедержавка, 15 – резцедержатель, 16 – инструмент, 17 – пружины
Рисунок 4. – Принципиальная схема устройства для

стружкодробления

В предложенной конструкции устройства задачиком колебательных движений резца является кулачок. Сменные кулачки для точения с асимметричными колебаниями инструмента были спроектированы исходя из коэффициента асимметрии ξ цикла колебаний, максимальной расчетной амплитуды и результатов математического моделирования колебаний инструмента. При изменении частоты вращения заготовки частота колебаний инструмента изменяется автоматически. В устройстве используется дроссельное регулирование амплитуды колебаний резца.

Предварительными исследованиями были определены пределы режимов резания для проведения эксперимента, обеспечивающие при обычной обработке образование сливной стружки: $t=1-3$ мм, $S_o=0,075-0,3$ мм/об и $v=40-180$ м/мин. Приняты следующие значения коэффициентов асимметрии цикла колебаний: 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3 и 4. Дальнейшее уменьшение или увеличение коэффициента асимметрии не приводит к существенному уменьшению максимального расстояния между траекториями движения инструмента Δ_{\max} .

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса точения с асимметричными колебаниями инструмента. В результате экспериментальных исследований влияния амплитуды колебаний инструмента на процесс стружкодробления установлено, что для конкретных условий обработки (режимы резания, обрабатываемый материал, коэффициент асимметрии цикла колебаний) существует минимальная амплитуда колебаний, обеспечивающая устойчивое стружкодробление. Минимальная амплитуда колебаний режущего инструмента увеличивается с ростом подачи и глубины резания и уменьшается с ростом скорости резания. Действительная минимальная амплитуда больше теоретической, равной половине подачи на оборот. Так, при обработке стали 45 с подачей 0,075–0,3 мм/об, скоростью резания 70 м/мин и глубиной резания 1,5 мм средние значения минимальной амплитуды для различных коэффициентов асимметрии цикла колебаний на 5–50% больше теоретических. При обработке стали ШХ15 с такими же подачей и глубиной резания и скоростью резания 118 м/мин величина действительной минимальной амплитуды увеличивается по сравнению с теоретической на 35–50%. Зависимость минимальной амплитуды от режимов резания и более высокие ее значения в сравнении с теоретической минимальной амплитудой связаны с упругими деформациями технологической системы. Обработка с амплитудой колебаний большей, чем минимальная, не влияет на процесс стружкодробления, но может оказать негативное влияние на качество обработанных поверхностей.

Силы резания при точении с асимметричными колебаниями инструмента периодически изменяются от минимальных до максимальных значений. Максимальные силы резания превышают силы резания, характерные для обычного точения. Так, при точении стали ШХ15 с глубиной резания 1,5 мм, подачей 0,15 мм/об, скоростью резания 90 м/мин и амплитудой колебаний инструмента $A=0,075$ мм сила резания $P_{z\max}$ выше в зависимости от коэффициента асимметрии цикла колебаний на 35–75%, что связано с периодическим ростом толщины среза. С увеличением амплитуды колебаний максимальные силы резания растут. Поэтому с целью уменьшения возможного влияния сил резания на точность обработки, ка-

чество обработанных поверхностей и стойкость резца точение с асимметричными колебаниями инструмента следует выполнять с минимальной амплитудой колебаний. Установлено, что средние значения сил резания при точении с асимметричными колебаниями сопоставимы с силами резания при обычном точении.

Экспериментальные исследования показали, что величина шероховатости обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента поверхностей имеет прямую зависимость от подачи, глубины и скорости резания. Полученные регрессионные модели зависимости шероховатости от режимов резания позволяют утверждать, что наибольшее влияние на величину шероховатости оказывает подача. Шероховатость поверхностей, обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента, выше, чем после обычного точения. Так, при точении с коэффициентом асимметрии $\xi=1/4$ шероховатость поверхности по сравнению с обычным точением будет выше на 10–20%. Однако она может быть снижена по сравнению с вибрационным точением с гармоническими колебаниями ($\xi=1$). К примеру, при точении стали 45 ($S_o=0,1-0,3$ мм/об, $v=70$ м/мин, $t=1,5$ мм) с коэффициентом асимметрии $\xi=1/4$ шероховатость поверхности уменьшается на 25–30% по сравнению с вибрационным точением. При обработке стали ШХ15 ($S_o=0,075-0,26$ мм/об, $v=118$ м/мин, $t=1,5$ мм) с $\xi=1/4$ значения шероховатости поверхности ниже на 25–35%, чем после вибрационного точения. Шероховатость поверхности, обработанной точением с коэффициентом асимметрии $\xi<1$, может достигать 2,5 мкм, что соответствует чистовой обработке.

Установлено, что точность размеров и формы обработанных поверхностей подчиняется закону нормального распределения. Зависимости величины отклонения формы образцов от коэффициента асимметрии цикла колебаний инструмента не прослеживается. Величина среднего квадратического отклонения размеров и формы обработанных образцов сопоставима с отклонениями при обычном точении. При жесткости технологической системы 2150 Н/мм точность обработки точением с наложением асимметричных колебаний инструмента может достигать 9–10 квалитетов, что соответствует полустойкой и чистой обработке на токарных станках.

В ходе эксперимента установлено, что размерный износ инструмента при точении с асимметричными колебаниями уменьшается по отношению к износу при обычном точении. Так, линейный относительный износ резца из сплава Т15К6 при обработке стали ШХ15 уменьшается на 10–15%. Размерная стойкость инструмента увеличивается на 15–25% в сравнении со стойкостью при обычном точении. При этом стойкость инструмента растет с увеличением коэффициента асимметрии цикла колебаний.

В пятой главе представлены технологическая оснастка и рекомендации по разработке операции точения с асимметричными колебаниями инструмента.

На основе полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана конструкция и изготовлено устройство для стружкодробления, обеспечивающее колебательные движения инструмента вдоль продольной подачи, коэффициент асимметрии цикла которых и отношение частоты колебаний к частоте вращения заготовки устанавливаются сменными кулачками. Разработана конструкторская документация на исполнительный механизм устройства (КД СРДС 020201 «Специальный резцедержатель для дробления стружки»). В результате испытаний устройства для стружкодробления в лабораторных условиях и на производстве установлено, что конструкция обеспечивает: стабильное стружкодробление при точении вязких материалов на различных режимах резания; управление размерами элементов стружки; автоматическое изменение частоты колебаний инструмента при изменении частоты вращения заготовки; возможность переключения устройства с обычного точения на точение с колебаниями и наоборот; получение требуемых параметров точности размеров и шероховатости обработанных поверхностей; повышение стойкости режущего инструмента на 15–25%.

Для обеспечения стабильного стружкодробления в процессе токарной обработки в условиях производства и заданных требований к точности и шероховатости обработанных поверхностей предложены рекомендации по разработке операции точения с асимметричными колебаниями инструмента, которые позволяют определить параметры колебаний инструмента в зависимости от диаметра обработки и требуемой длины элементов стружки, точности и шероховатости обработанных поверхностей. Разработан типовой технологический процесс механической обработки детали «вал» (ТД 02241.00001), в котором на токарной операции используется метод точения с асимметричными колебаниями инструмента.

Результаты выполненной работы внедрены в производство в филиале БНТУ опытный завод «Политехник» с годовым экономическим эффектом от использования одного устройства для стружкодробления в размере 5 млн. рублей в ценах 2014 г. и на ОАО «МЗКТ» с годовым экономическим эффектом 20 млн. рублей в ценах 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате изучения кинематики процесса точения с асимметричными колебаниями инструмента получены функциональные зависимости для расчета оптимальных параметров колебательного движения (частоты, периодов врезания и отвода в течение цикла колебаний),

которые необходимы для устойчивого дробления стружки при минимальной амплитуде колебаний инструмента. Рассчитываемые параметры зависят от коэффициента асимметрии цикла колебаний и числа полных циклов за один оборот заготовки. При этом число полных циклов колебаний инструмента за один оборот заготовки определяется в зависимости от требуемой длины элементов стружки. Установлено, что с увеличением асимметрии цикла колебаний уменьшается максимальное расстояние между траекториями движения инструмента на двух последовательных оборотах заготовки, что способствует снижению максимальной высоты гребешков микронеровности и уменьшению величины шероховатости поверхностей, обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента [1, 2, 5, 7, 16, 22, 23].

2. На основе разработанной математической модели колебательного движения инструмента с асимметричным циклом колебаний, направленных вдоль осевой подачи, учитывающей геометрические параметры исполнительного механизма устройства для стружкодробления, жесткость его возвратных пружин и периодический характер изменения силы резания P_x , установлено, что для точения с силой резания $P_x=170-350$ Н и принятых в работе конструкции и размеров исполнительного механизма требуемая траектория колебательного движения инструмента обеспечивается возмущающей силой P_B в пределах от 85 до 180 Н и пружинами с жесткостью $j=7,5$ Н/мм. При этом соотношение между максимальным значением возмущающей силы P_B и силой P_B' , соответствующей началу резания с максимальной толщиной среза, составляет 1,03, что должно быть учтено при проектировании рабочего профиля кулачка, генерирующего колебания инструмента с асимметричным циклом [3].

3. Экспериментальными исследованиями влияния амплитуды колебаний инструмента на процесс стружкодробления установлено, что для конкретных условий обработки (режимы резания, обрабатываемый материал, коэффициент асимметрии цикла колебаний) существует минимальная амплитуда колебаний, обеспечивающая устойчивое стружкодробление. Действительная минимальная амплитуда больше теоретической на 5–50% при обработке стали 45 ($S_o=0,075-0,3$ мм/об, $v=70$ м/мин и $t=1,5$ мм) и на 35–50% – при обработке стали ШХ15 ($S_o=0,075-0,3$ мм/об, $v=118$ м/мин и $t=1,5$ мм). При этом максимальные силы резания выше, чем силы резания при обычном точении. Так, при обработке стали ШХ15 резцом из сплава Т15К6 с подачей 0,15 мм/об, скоростью резания 90 м/мин, глубиной резания 1,5 мм и амплитудой колебаний 0,075 мм в зависимости от коэффициента асимметрии цикла колебаний максимальная сила резания P_{zmax} превышает силу резания обычного точения на 35–75%. Однако средние зна-

чения сил резания сопоставимы с силами резания при обычном точении. Обработка с амплитудой колебаний большей, чем минимальная, не влияет на процесс стружкодробления, но приводит к дальнейшему увеличению максимальных значений сил резания [10, 14].

4. В результате анализа полученных экспериментальных данных влияния коэффициента асимметрии цикла колебаний на шероховатость обработанных поверхностей установлено, что значения шероховатости поверхностей, обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента, выше, чем после обычного точения на тех же режимах резания. Так, при точении стали 45 ($S_o=0,1-0,3$ мм/об, $v=70$ м/мин, $t=1,5$ мм) с коэффициентом асимметрии цикла колебаний $\xi=1/4$ шероховатость поверхности по сравнению с обычным точением увеличивается на 10–20%. Но при этом она ниже на 25–30% по сравнению с шероховатостью после вибрационного точения ($\xi=1$). При обработке стали ШХ15 ($S_o=0,075-0,26$ мм/об, $v=118$ м/мин, $t=1,5$ мм) шероховатость ниже на 25–35%. Уменьшение коэффициента асимметрии цикла колебаний приводит к снижению шероховатости поверхностей. Точение с коэффициентами асимметрии цикла колебаний $1/3$ и $1/4$ позволяет получить шероховатость поверхности ниже Ra 6,3 мкм вплоть до 2,5 мкм [4, 5, 11, 15, 19].

5. На основании выполненных экспериментальных исследований влияния точения с асимметричным циклом колебаний инструмента на точность размеров и формы обработанных поверхностей установлено, что исследуемые параметры подчиняются закону нормального распределения. Зависимость величины отклонения формы образцов от коэффициента асимметрии цикла колебаний инструмента не прослеживается. Величина среднего квадратического отклонения размеров и формы обработанных образцов сопоставима с отклонениями при обычном точении. При жесткости системы СПИЗ 2150 Н/мм точность обработки точением с наложением асимметричных колебаний инструмента может достигать 9–10 квалитетов [5, 18, 20].

6. В результате экспериментального исследования влияния коэффициента асимметрии цикла колебаний на износ режущего инструмента установлено, что размерный износ при точении с асимметричными колебаниями уменьшается по отношению к износу при обычном точении. Так, линейный относительный износ резца из твердого сплава Т15К6 при обработке стали ШХ15 в сравнении с износом при обычном точении уменьшается на 10–15%. Размерная стойкость инструмента увеличивается на 15–25%. При этом стойкость инструмента растет с увеличением коэффициента асимметрии цикла колебаний [5, 12, 21].

Рекомендации по практическому применению результатов

На основе полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана конструкция (КД СРДС 020201 «Специальный резцедержатель для дробления стружки») и изготовлено устройство для стружкодробления, обеспечивающее колебательные движения инструмента вдоль продольной подачи, коэффициент асимметрии цикла которых и отношение частоты колебаний к частоте вращения заготовки устанавливается сменными кулачками. При изменении частоты вращения заготовки частота колебательных движений инструмента изменяется автоматически [6, 8, 9, 13, 17].

Для технологического обеспечения стабильного стружкодробления в процессе токарной обработки и заданных требований к точности и шероховатости обработанных поверхностей разработаны рекомендации по использованию метода точения с асимметричными колебаниями инструмента, которые позволяют определить параметры колебаний инструмента в зависимости от диаметра обработки и требуемой длины элементов стружки, точности и шероховатости обработанных поверхностей. Эти рекомендации могут быть использованы при проектировании операции точения с асимметричными колебаниями в условиях производства.

Разработан типовой технологический процесс механической обработки детали «вал» (ТД 02241.00001) с использованием на токарных операциях точения с асимметричными колебаниями инструмента, который может быть использован для разработки единичных технологических процессов обработки в условиях серийного производства.

Результаты выполненной работы внедрены в производство в филиале БНТУ опытный завод «Политехник» с годовым экономическим эффектом от использования одного устройства для стружкодробления в размере 5 млн. рублей в ценах 2014 г. и на ОАО «МЗКТ» с годовым экономическим эффектом 20 млн. рублей в ценах 2015 года, используются в учебном процессе подготовки студентов специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника» по дисциплине «Металлорежущие станки и инструменты», также направлению специальности 1-08 01 01-01 «Профессиональное обучение (машиностроение)» по дисциплине «Теория резания и режущий инструмент».

Список публикаций соискателя по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных журналах и сборниках

1. Шелег, В.К. Анализ методов и способов стружкодробления в процессе токарной обработки / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т; под ред. В.К. Шелега. Минск, 2013. – Вып. 27. – С. 73–80.

2. Данильчик, С.С. Кинематика точения с наложением асимметричных колебаний инструмента / С.С. Данильчик, В.К. Шелег // Наука и техника. 2013. – №4. – С. 16–21.

3. Шелег, В.К. Математическая модель и расчет конструктивных параметров устройства для колебательного движения инструмента при точении с асимметричным циклом колебаний / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 2014. – №3. – С. 69–75.

4. Шелег, В.К. Точение конструкционных сталей с наложением на подачу инструмента асимметричных колебаний / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. – №11. – С. 2–7.

5. Шелег, В.К. Условия устойчивого стружкодробления и обеспечения качества обработанных поверхностей при точении с асимметричными колебаниями инструмента / В. К. Шелег, В.И. Молочко, С. С. Данильчик // Наука и техника. Серия 1. Машиностроение. 2015. – № 3. – С. 19–24.

Материалы конференций

6. Данильчик, С.С. Расчет конструктивных параметров кулачка для асимметричного вибрационного точения / С.С. Данильчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы четвертой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2006 г.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2006. –Т. 2. – С. 177–179.

7. Молочко, В.И. Математическая модель вибрационного точения с асимметричным циклом колебаний / В.И. Молочко, С.С. Данильчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы пятой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2007 г.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2007. –Т. 2. – С. 250–252.

8. Данильчик, С.С. Зависимость структуры цикла колебаний инструмента при вибрационном точении от способа задания амплитуды / С.С. Данильчик, В.И. Молочко // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: материалы III междунар. науч.-практ. конф. Минск, 23–24 октября 2008 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2009. – С. 295–298.

9. Данильчик, С.С. Регулирование амплитуды движения инструмента при точении с асимметричными колебаниями / С.С. Данильчик // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: материалы V междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 ноября 2011 г.: в 2 ч. / Белорус. национ. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2011. – Ч. 1. – С. 15–20.

10. Шелег, В.К. Минимальная амплитуда при вибрационном точении с асимметричным циклом колебаний инструмента / В.К. Шелег,

С.С. Данильчик // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: материалы VII междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–29 ноября 2013 г.: в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Ч. 2. – С. 72–76.

11. Данильчик, С.С. Расчетные и экспериментальные значения шероховатости при точении с асимметричными колебаниями инструмента / С.С. Данильчик, В.К. Шелег // Современные технологии и образование: проблемы, идеи, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–28 ноября 2014 г.: в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 2. – С. 38–43.

12. Шелег, В.К. Стойкость режущего инструмента при точении с наложением на его подачу асимметричных колебаний / В.К. Шелег, С.С. Данильчик, П.С. Данильчик // Современные технологии в образовании: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 ноября 2015 г.: в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 2. – С. 39–43.

Тезисы докладов

13. Данильчик, С.С. Дроссельное регулирование амплитуды при точении с наложением асимметричных колебаний инструмента / С.С. Данильчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы девятой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2011 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 4. – С. 170.

14. Данильчик, С.С. Зависимость сил резания от режимов обработки при точении с асимметричными колебаниями инструмента / С.С. Данильчик // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф (Минск, 12–13 апреля 2011 г.) / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. Минск: Бизнес-софсет, 2011. – С. 58–60.

15. Шелег В.К. Исследование шероховатости поверхностей, обработанных точением с наложением асимметричных колебаний инструмента / В.К. Шелег, С.С. Данильчик, В.И. Молочко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы десятой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2012 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2012. – Т. 4. – С. 168.

16. Шелег, В.К. Изменение рабочих углов резца при точении с асимметричными колебаниями инструмента / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы одиннадцатой междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Т. 4. – С. 232.

17. Шелег, В.К. Исходные параметры негармонических колебаний для расчета кулачка к токарному вибрационному устройству / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы одиннадцатой междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Т. 4. – С. 236.

18. Шелег, В.К. Точность поверхностей, обработанных точением с асимметричными колебаниями инструмента / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-ой междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2014. – Т. 4. – С. 227–228.

19. Шелег, В.К. Влияние параметров точения с асимметричными колебаниями инструмента на шероховатость обработанных поверхностей / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Технология – оборудование – инструмент – качество: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф (Минск, 9–10 апреля 2014 г.) / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. Минск: Бизнесофсет, 2014. – С. 127–129.

20. Шелег, В.К. Влияние параметров точения с асимметричными колебаниями инструмента на точность обработки / В.К. Шелег, С.С. Данильчик // Технология – оборудование – инструмент – качество: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф (Минск, 9–10 апреля 2014 г.) / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. Минск: Бизнесофсет, 2014. – С. 125–127.

21. Данильчик, С.С. Стойкость инструмента при точении с его асимметричными колебаниями / С.С. Данильчик, В.К. Шелег // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-ой междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2015. – Т. 4. – С. 200.

22. Шелег, В.К. Оптимальные параметры колебательного движения при точении с асимметричным циклом колебаний инструмента / В.К. Шелег, С.С. Данильчик, // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 апреля 2015 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск, 2015.– С. 195 – 197.

Патенты

23. Способ обработки резанием с кинематическим дроблением стружки заготовки из вязкого металла или сплава: пат. 19193 Респ. Беларусь, МПК В 23В 25/02 / В.И. Молочко, С.С. Данильчик; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № а20111660; заявл. 06.12.2011; опубл. 30.06.2015 // Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысл. узоры [Электронный ресурс]: Афіцыйны бюл. / Национальный центр интеллектуальной собственности. – 2015. – № 3 – С. 67.

РЭЗІЮМЭ**Данільчык Сяргей Сяргеевіч****Тэхналагічнае забеспячэнне стружкадрабнення і параметраў якасці пры тачэнні канструкцыйных вугляродзістых і легіраваных сталяў з накладаннем асіметрычных ваганняў**

Ключавыя словы: стружкадрабненне, асіметрычныя ваганні, каэфіцыент асіметрыі цыклу ваганняў, прылада для стружкадрабнення, параметры якасці і дакладнасці, стойкасць рэжучага інструмента.

Мэта працы: тэхналагічнае забеспячэнне стружкадрабнення і параметраў якасці пры тачэнні канструкцыйных вугляродзістых і легіраваных сталяў з накладаннем асіметрычных ваганняў, якое дазваляе атрымаць элементы стружкі зададзеных памераў пры захаванні патрабаванняў да шурпатасці і дакладнасці апрацоўкі.

Метады даследавання: фундаментальныя палажэнні тэорыі рэзання і тэхналогіі машынабудавання, матэматычны апарат мадэлявання, метады колькаснага аналізу, статыстычныя метады апрацоўкі эксперыментальных дадзеных, пакет праграм MathCad.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: выведзены залежнасці аптымальных параметраў асіметрычных ваганняў інструмента, накіраваных уздоўж падачы і прызначаных для стружкадрабнення, ад велічыні каэфіцыента асіметрыі цыклу ваганняў і патрабаванай даўжыні элементаў стружкі; распрацавана матэматычная мадэль вагальнага руху інструмента з асіметрычным цыклам ваганняў, якая дазваляе апісаць траекторыю руху інструмента і вызначыць параметры прылады, неабходныя для ўстойлівага стружкадрабнення; атрыманы рэгрэсійныя мадэлі ўплыву рэжымаў рэзання і велічыні каэфіцыента асіметрыі цыклу ваганняў на шурпатасць апрацаваных паверхняў і стойкасць рэжучага інструмента, неабходныя для практавання тэхналагічнага працэсу механічнай апрацоўкі.

Рэкамендацыі па выкарыстанню: распрацавана і ўкаранёна ў вытворчасць канструкцыя прылады для стружкадрабнення, падрыхтаваны рэкамендацыі па распрацоўцы тэхналагічнай аперацыі тачэння з асіметрычнымі ваганнямі інструмента, распрацаваны тыпавы тэхналагічны працэс механічнай апрацоўкі дэталі «вал», у якім выкарыстоўваецца тэхналагічная аперацыя тачэння з асіметрычнымі ваганнямі інструмента.

Галіна прымянення: такарная апрацоўка канструкцыйных сталяў у машынабудаўнічай вытворчасці.

РЕЗЮМЕ

Данильчик Сергей Сергеевич

Технологическое обеспечение стружкодробления и параметров качества при точении конструкционных углеродистых и легированных сталей с наложением асимметричных колебаний инструмента

Ключевые слова: стружкодробление, асимметричные колебания, коэффициент асимметрии цикла колебаний, устройство для стружкодробления, параметры качества и точности, стойкость режущего инструмента.

Цель работы: технологическое обеспечение стружкодробления и параметров качества обработанных поверхностей при точении конструкционных углеродистых и легированных сталей с наложением асимметричных колебаний инструмента, позволяющее получить элементы стружки заданных размеров при соблюдении требований к шероховатости и точности обработки.

Методы исследования: фундаментальные положения теории резания и технологии машиностроения, математический аппарат моделирования, методы численного анализа, статистические методы обработки экспериментальных данных, пакет программ MathCAD.

Полученные результаты и их новизна: выведены зависимости оптимальных параметров асимметричных колебаний инструмента, направленных вдоль подачи и предназначенных для стружкодробления, от величины коэффициента асимметрии цикла колебаний и требуемой длины элементов стружки; разработана математическая модель колебательного движения инструмента с асимметричным циклом колебаний, позволяющая описать траекторию движения инструмента и определить параметры устройства, необходимые для устойчивого стружкодробления; получены регрессионные модели влияния режимов резания и величины коэффициента асимметрии цикла колебаний на шероховатость обработанных поверхностей и стойкость режущего инструмента, необходимые для проектирования технологического процесса механической обработки.

Рекомендации по использованию: разработана и внедрена в производство конструкция устройства для стружкодробления, подготовлены рекомендации по разработке технологической операции точения с асимметричными колебаниями инструмента, разработан типовой технологический процесс механической обработки детали «вал», в котором используется технологическая операция точения с асимметричными колебаниями инструмента.

Область применения: токарная обработка конструкционных сталей в машиностроительном производстве.

SUMMARY

Danilchik Sergey

Technological Provision for Chipbreaking and Quality Characteristics in Turning Structural Carbon and Alloy Steels with the Imposition of Asymmetric Vibrations of the Tools

Key words: chipbreaking, asymmetric vibrations, coefficient of vibration cycle asymmetry, equipment for turning with asymmetric vibrations, precision and quality characteristics, stability of the cutting tool.

The goal of the research is the development of technological provision for chipbreaking and quality characteristics required for turning structural carbon and alloy steels with the imposition of asymmetric vibrations of the tools.

Methods of the research: the fundamental principles of cutting theory and mechanical engineering technology, mathematical apparatus of modeling, methods of numerical analysis, statistical methods of experimental data processing, MathCAD program packages.

Obtained results and their novelty: dependence of optimal characteristics of asymmetric vibrations of the tools directed along the supply and intended for chipbreaking on the magnitude of the asymmetry coefficient of vibration cycle and the desired length of the elements of the chip was determined; a mathematical model of the vibration motion of the tools with an asymmetrical vibration cycle which allows to describe the trajectory of the tools and to determine the characteristics of the equipment for turning with asymmetric vibrations needed for a sustainable chipbreaking was developed; regression models of influence of cutting conditions and the magnitude of the coefficient of asymmetric vibration cycle on the roughness of the finished surfaces and durability of cutting tools required for the design of machining process were obtained.

Recommended use: design of the equipment for turning with asymmetric vibrations of the tools was developed and implemented in the production; recommendations on the development of turning technology with asymmetric vibrations of the tools were prepared; a model machining process of the part "shaft" where the technology of turning with asymmetric vibrations of the tools is used was developed.

Scope of application: turning of structural steels in mechanical engineering.

Научное издание

**Данильчик
Сергей Сергеевич**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ
И ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРИ ТОЧЕНИИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ
СТАЛЕЙ С НАЛОЖЕНИЕМ АСИММЕТРИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ИНСТРУМЕНТА**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Подписано в печать 21.04.2016. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л.1,09. Тираж 65. Заказ 404.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий №1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск