

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Диссертационный совет Д. 05.11.043

На правах рукописи

УДК 621.91.01

Ходжибергенов Давлатбек Турганбекович

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ, ТЕХНОЛОГИИ И
РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РОТАЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ
СТАНКАХ**

05.02.08 - «Технология машиностроения»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек – 2013

Работа выполнена в Южно-Казахстанском государственном университете им. М. Ауезова (г. Шымкент, Республика Казахстан)

Научный консультант: доктор технических наук, доцент
Шеров Карибек Тагаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Муслимов Аннас Поясович

доктор технических наук, профессор
Мазеин Петр Германович

доктор технических наук, профессор
Абсадыков Бахыт Нарикбаевич

Ведущая организация: Кыргызский государственный
технический университет им.
И. Раззакова (г. Бишкек, проспект
Мира, 66)

Защита состоится « 15 » февраля 2013 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д.05.11.043 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики, диссертационный совет Д. 05.11.043, e-mail: imash_kg@mail.ru.

Автореферат разослан « 14 » января 2013 года.

Телефон для справок: (0312)541149, факс: (0312)562785.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д.05.11.043, к.т.н., с.н.с.



Квитко С. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из основных задач промышленности является широкое развитие техники и технологии, обеспечивающих высокую производительность и качество изделий. Это, прежде всего, относится к изготовлению деталей и изделий различного назначения, в том числе из труднообрабатываемых сталей и сплавов, характеризующихся высокой трудоемкостью и себестоимостью как основных операций механической обработки (точение, фрезерование и др.), так и отделочно-зачистных (удаление заусенцев, полирование и др.). Поэтому в различных отраслях промышленности ведутся широкие исследования с целью совершенствования существующих методов обработки, изыскиваются и разрабатываются новые высокопроизводительные технологические процессы формообразования и финишной обработки деталей.

Инструмент, внедряясь в обрабатываемую заготовку на определенную глубину, выполняет большую работу деформации, так как направления скоростей резания и перемещения стружки имеют большое расхождение. Передняя поверхность режущего инструмента в процессе отделения припуска от обрабатываемой поверхности перенаправляет ее в обратную сторону в виде стружки. Таким образом, отделяемая стружка подвергается большой деформации, что приводит к увеличению температуры резания, износу инструмента и т.д. Сохраняя прочность инструмента, мы не имеем возможности увеличить передний угол γ для того, чтобы улучшить процесс резания. Во всех схемах традиционной лезвийной обработки можно выделить режущий клин, характеризующийся углами резания и углом самого клина β . При выборе значений этих углов необходимо учитывать двойное требование к конструкции режущей части. Так, обеспечение максимальной прочности режущего клина требует увеличения угла клина β и выбора минимально необходимого значения заднего угла α .

В настоящее время на ведущих машиностроительных производствах широко применяются нетрадиционные методы механической обработки, в число которых входят ротационные. Для обеспечения требуемого качества обработанной поверхности предлагается многолезвийная ротационная обработка, выполняемая на токарных и фрезерных станках при обработке заготовок из вязких и упрочняющихся материалов при деформации склонных к образованию нароста, а также при обработке сложнолегированных, жаростойких сплавов, титана и его сплавов

Способ основан на трении качения между задней поверхностью режущего клина и обрабатываемой поверхностью и не требует значительных усилий для взаимодействия, что всегда допустимо. При этом самовращение инструмента происходит, в основном, с помощью трения скольжения между передней и поверхностью режущего клина и сбегавшей стружкой. В чистовых операциях превалирует трение на задней поверхности режущего инструмента.

Способ позволяет лезвийной обработкой достичь требуемого качества обработанной поверхности, исключив при этом необходимость применения абразивной обработки. Это избавит от заряжения обработанной мелкими частицами абразивного инструмента, которые впоследствии вкрапляются в поверхность, что отрицательно сказывается на износостойкости обработанной детали в процессе эксплуатации её в узлах машин. Особенно важным этот момент является для подвижных соединений.

Выходные параметры, характеризующие ротационную обработку при точении на токарных станках, следующие: шероховатость обработанной поверхности $R_a < 0,6$ мкм за один проход (величина шероховатости значения не имеет, возможна обработка с «черной» поверхности); относительная длина поверхности $t_p > 40\%$ на уровне начиная, с глубины 0,3 мм; стойкость по сравнению с обработкой призматическим резцом увеличивается в 5-10 раз; температура в зоне резания понижается 30-50%; возможна обработка очень твердых материалов ($HRC \approx 60$ ед.).

Для обработки незакаленных сталей и чугуна, а также для цветного металла рекомендуется применять инструментальный материал из быстрорежущей стали (P6M5; P9K8 и т.д.), для закаленных сталей – твердый сплав BK8 (TK15).

Изучение существующих проблем для традиционного фрезерования вязких и упрочняющихся при деформации материалов затруднено из-за прерывистости процесса. Установлено, что при обработке глубоких пазов наблюдается малая производительность вследствие низкой стойкости дисковых фрез. При этом обеспечение высокого качества поверхности затруднительно. Предлагаемая ротационная обработка исключает прерывистость резания, за счет чего увеличивается стойкость инструмента, и обработанная поверхность получается более качественной.

Среди известных процессов металлообработки резание металлов отличается низкой энергоёмкостью, которая в десятки,

сотни раз меньше энергоёмкости известных физико-химических и других методов.

Таким образом, разработка новых способов обработки материалов и создание конструкций многолезвийных ротационных режущих инструментов, обеспечивающих в процессе механической обработки повышение стойкости инструмента, производительности и качества обработанной поверхности без применения финишных операций, является актуальным.

Связь темы с планом научных работ. Данная работа выполнена в рамках научно-технических программ по теме Б – МСФ –06-05-06 / 7 «Управление качеством обрабатываемой поверхности при высокоинтенсивных методах механической и физико-механической обработки» в госбюджетной НИР о проблеме повышения производительности и качества механической обработки и сборки (шифр 49/7, гос. регистрация N 01825049250).

Цель и задачи исследования работы. Цель работы заключается в разработке экономически выгодных ресурсосберегающих способов механической обработки материалов и создание конструкции режущих инструментов, обеспечивающих повышение их стойкости, производительности, улучшение качества обработанной поверхности и снижение энергоёмкости.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи.

1. Разработать научные основы ротационного метода обработки изделий на металлорежущих станках, позволяющие по математическим моделям произвести расчет основных параметров технологической системы.

2. Предложить практические рекомендации по выбору режимов резания и геометрических, установочных параметров инструмента, дающие возможность управления качеством обработанной поверхности по разработанным схемам резания и способом механической обработки материалов.

3. Разработать конструкции инструментальных оснасток и рациональные конструктивные геометрические параметры режущих инструментов, а также создать ряд ротационных режущих инструментов для отраслей экономики.

4. Экспериментально доказать многократное увеличение стойкости инструмента при работе по предлагаемым схемам и способам механической обработки.

5. Исследовать форму и размеры стружки, температуру и динамику процесса резания, износ инструмента, а также

разработать методику и установить зависимости для расчета геометрических, установочных и кинематических параметров режущего инструмента и создать новый механизм образования стружки при совмещении направления скорости, подачи и движения режущего инструмента, с разработкой практических рекомендаций.

Основные положения работы, выносимые на защиту:

1. Новая технология ротационной обработки.
2. Выявленные значения параметров качества и режимов резания при совмещении операций упрочнения и выглаживания, позволяющие повысить эффективность ротационной обработки.
3. Оригинальная методика исследования геометрических, установочных и кинематических параметров режущего инструмента.
4. Методика расчета тепловых явлений при ротационной обработке.
5. Результаты экспериментальных исследований температуры, составляющих сил резания, износа инструмента, процесса стружкообразования и шероховатости поверхности при многолезвийном ротационном способе обработки.
6. Математические зависимости, определяющие условия контакта режущей части инструмента с обрабатываемой деталью.
7. Рекомендации по выбору режимов резания и геометрических, установочных параметров инструмента, а также инструментальных материалов для ротационных инструментов и инструментальной оснастки.

Научная новизна работы заключается в создании нового научного направления в технологии ротационной обработки, включающего:

- разработку научных основ технологии многолезвийной ротационной обработки цилиндрических и плоских поверхностей;
- разработку нового способа ротационной обработки, перспективных конструкций режущих инструментов и инструментальной оснастки, подтвержденного 3-мя патентами Республики Казахстан;
- определение значений характерных величин для наиболее рациональной геометрии и кинематики процесса резания в предлагаемом способе ротационной обработки;
- установление и раскрытие физического механизма явлений, возникающих на элементарном участке контактной зоны;
- определение взаимосвязи характеристик при новом способе ротационной обработки: длины контакта стружки с передней поверхностью, контактного напряжения и контактного трения, переднего и заднего угла инструмента в процессе резания;

- совмещение операций упрочнения и выглаживания в предлагаемом способе ротационной обработки;
- математическое моделирование особенностей взаимодействия механики ротационного режущего инструмента и обрабатываемого материала.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

- разработке и изготовлении новых конструкций ротационных инструментов и инструментальной оснастки для обработки изделий на металлорежущих станках.
- разработке методических рекомендаций по выбору режимов резания и геометрических, установочных параметров инструмента, а также инструментальных материалов для ротационных инструментов и инструментальной оснастки.
- увеличении срока службы инструмента на два порядка, т.е. повышение стойкости многолезвийного ротационного инструмента из Р6М5 при обработке закаленных сталей до $T = 30$ часов;
- повышении производительности в $4 \div 8$ раз;
- возможности управления качеством обработанной поверхности с достижением шероховатости $R_a < 0,32$ мкм при относительной длине опорной поверхности $t_p = 65$ % на уровне сечения профиля $0,6$ мм со степенью деформации в пределах $0,36 \div 0,42$ и упрочнением поверхностного слоя на глубине до $0,5$ мм;
- снижении средней температуры резания на контактных поверхностях до $200 \div 300^\circ \text{C}$;
- в снижении расхода инструментальных материалов;
- в снижении энергоемкости процессов обработки резанием и усилий резания (силы резания уменьшаются на $15 \div 20\%$);
- исключении из технологического процесса механической обработки детали финишных операций, и получении за один проход с необработанной поверхности точности геометрических размеров в пределах $6..7$ квалитетов;
- сокращении удельных расходов на изготовление деталей более чем в 2 раза;

Результаты работы апробированы и внедрены в производство АО «Карданвал», ТОО «Механический завод» (г. Шымкент) и ТОО " Завод Электроаппарат", а также в учебный процесс при чтении лекций по дисциплине «Основы теории резания» для студентов специальности «Машиностроение» Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауезова.

Личный вклад соискателя заключается в выявлении проблем в области механической обработки материалов, в

постановке задач и в проведении исследований, в разработке основ теории нового способа ротационной обработки новыми режущими инструментами, в обработке и анализе полученных экспериментальных данных. Вся исследовательская работа, теоретические и экспериментальные, а также внедренческие работы проведены лично автором или при его активном участии.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических семинарах и республиканских конференциях: VII международной научно-практической конференции «Naukawa mysl infocstacyjnej rowieki-2011» (Przemysł, Перемышль, Польша, Nauka I studia 2011 г.); VII международной научно-практической конференции «Найновите научни постижения - 2011» (София, Болгария «Бял ГРАД-БГ» 2011 г.); международной научно-практической конференции «Развитие в образовании инновационных и информационных технологий – основа качества подготовки специалистов», посвященная 20-летию независимости республики Казахстан, (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2010 г.); международной научно-практической конференции «Ауезовские чтения-9. Пути инновационного развития науки, образования и культуры в новом десятилетии» (ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент, Республика Казахстан, 2010 г.); VI международной научно-практической конференции «Образование и наука без границ-2010» (Przemysł Перемышль, Польша, Nauka I studia 2010 г.); 14-ой научной студенческой конференции по естественным, техническим, социально-гуманитарным и экономическим наукам, посвященной посланию Главы государства «Построим будущее вместе» (ЮКГУ, г. Шымкент, Республика Казахстан, 2011 г.); научно-практической конференции студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых «Новое десятилетие - новый экономический подъем - новые возможности Казахстана» (ЮКГУ, г. Шымкент, Республика Казахстан, 2010 г.); международной научно-практической конференции «Перспективные направления альтернативной энергетики и энергосберегающие технологии» (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2010 г.); международной научно-практической конференции «М. Ауезов - гений нового времени», посвященной 110-летию М. Ауезова (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2007 г.); Республиканской научно-практической конференции «Роль и задачи образовательных учреждений в формировании основ «Умной экономики»» (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2007 г.); международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие - основа устойчивости

экономики Казахстана» (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2006 г.); международной научно-методической конференции «Совершенствование взаимосвязи образования и науки в XXI веке и актуальные проблемы получения качества подготовки высококвалифицированных специалистов» (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2006 г.); международной научно-технической конференции «Мониторинг летательных аппаратов» (г. Ташкент, Республика Узбекистан, 2000 г.).

Публикации по теме диссертации. Результаты диссертационной работы отражены в 59 публикациях, включая 31 публикацию в изданиях, рекомендованных ВАК, имеется 3 инновационных патента Республики Казахстан на изобретение режущих инструментов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав и общих выводов, списка использованных источников из 146 наименований. Материал изложен на 223 страницах машинописного текста и дополнен 5-ю приложениями на 36 страницах, содержит 86 рисунков и 3 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована цель и задачи исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту. Обоснована актуальность научно-технической проблемы, раскрыта сущность, изложена общая характеристика и основные направления работы. Произведен анализ и акцентированы особенности процессов механической обработки материалов. Проанализированы схемы резания, нашедшие наибольшее применение в практике традиционной лезвийной обработки материалов (Аршинов В.А., Алексеев Г.А., Бобров В.Ф., Иерусалимский Д.Е. и др.), которые условно разделены на процесс резания с неразрывным контактом между режущей кромкой и обрабатываемым материалом и наличием вращения режущего инструмента, имеющего несколько режущих зубьев. На основе анализа некоторых схем механической обработки традиционного резания сформулированы преимущества и недостатки при точении, строгании, протягивании и при фрезеровании. Результаты систематизированы и предложены требования к наиболее рациональной схеме резания, которая должна позволить минимизировать работу деформации при резании $A_{\text{деф}}$, снизить коэффициенты трения μ , уменьшить температуру резания Q ,

увеличить передний угол режущего лезвия, приблизить угол сдвига β_1 к 45° .

В традиционных схемах резания режущий инструмент, внедряясь в обрабатываемую заготовку на определенную глубину, выполняет большую работу деформации, так как направление скоростей резания и стружки имеют большое расхождение. Передняя поверхность режущего инструмента отделяет слой припуска от обрабатываемой поверхности, останавливая его, и направляет в обратную сторону. Таким образом, отделяемая стружка подвергается большой деформации, что приводит к увеличению температуры резания, износу инструмента и т.д.

К схеме резания должны предъявляться следующие требования: обеспечение возможности в широком диапазоне варьировать значениями углов режущего инструмента при сохранении угла клина, по возможности максимально сохраняя его по величине; обеспечение непрерывности контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом; обновление режущей кромки со скоростью, равной скорости схода стружки. Кроме этого, необходимо обеспечить совпадение направления скорости схода стружки и главного движения, распределение снимаемого припуска на отдельные режущие кромки или элементы.

Известные методы (Аваков А.А) механической обработки работают на принципе скольжения между режущей частью инструмента и сбегавшей стружкой и обработанной поверхностью (Новоселов Ю.А., Попок А.А.). Скорость относительного скольжения в значительной мере определяет как энергетические затраты на осуществление процесса (Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В.), так и стойкость инструмента, качество обработанной поверхности. Вместе с тем уменьшение скорости относительного скольжения в контактных зонах инструмента с обрабатываемым материалом может быть достигнуто заменой скольжения при их взаимодействии на качение.

Схемы резания, обеспечивающие в той или иной мере замену скольжения в контактных зонах на качение, отличаются наибольшей эффективностью. Резание металлов с заменой скольжения на качение и осуществляющие этот процесс инструменты названы ротационными, поскольку реализация качения при взаимодействии рабочих поверхностей инструмента с обрабатываемым материалом переводит резание в класс ротационной обработки (Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А.).

Таким образом, разработка научных основ, технологий и режущих инструментов для ротационной обработки изделий на металлорежущих станках является актуальной.

В первой главе приведен аналитический обзор методов ротационной обработки (РО), освещающий основные аспекты процесса резания. Проведен анализ существующих схем РО и обоснованы направления исследования.

Приведены некоторые результаты исследований Е.Г.Коновалова, Ф.В.Боброва; В.А.Данилова; В.А.Землянского; П.И.Ящерицына и других ученых по вопросу отличия механики стружкообразования, теплофизики, кинематики, динамики ротационного резания от традиционных методов механической обработки.

Авторы (П.И. Ящерицин, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев) утверждают, что, благодаря большой длине круговой режущей кромки лезвия, его непрерывному вращению во время работы, а также хорошим условиям охлаждения за время холостого пробега, температура в зоне резания при обработке ротационным инструментом, по сравнению с традиционным, снижается до 40 %. Ротационное резание также характеризуется высокой стойкостью режущего инструмента, в 5÷10 раз выше в сравнении с традиционными лезвийными инструментами, и возможностью обеспечения высокого качества обработанной поверхности.

Коновалов Е.Г., В.И. Ходырев, Шатуров Г.Ф., Найдышев Е.Н. доказывают, что относительное скольжение в контактных зонах, необходимым образом сопровождающее любой известный традиционный метод обработки резанием, заменяется качением с той или иной долей проскальзывания. Осуществление указанной замены сопровождается непрерывным обновлением в процессе резания контактных поверхностей, как обрабатываемой детали, так и инструмента; непрерывным обновлением активного участка лезвия; резким снижением скорости относительного скольжения в контактных зонах. Для каждого элементарного участка режущего лезвия происходит переход от процесса непрерывного резания к периодически повторяющемуся, прерывистому резанию.

Периодизация процесса резания улучшает условия работы контактных поверхностей инструмента, это способствует повышению теплоотвода из зоны резания через инструмент, снижению общей тепловой напряженности процесса и в результате увеличивается период стойкости инструмента.

Известны способы ротационной обработки, основанные на принципе периодизации режущей кромки, они классифицированы в работах Е.Г. Коновалова, Л.А. Гик, В.И. Ходырова. Бобров В.Ф., Коновалов Е.Г., Землянский В.А., Кучма Л.К. считают, что

главным недостатком для самовращающегося ротационного чашечного резца является проскальзывание.

Образование зоны деформации при резании и доказательства природы деформации весьма противоречивы, что привело к возникновению двух направлений в подходе к данному вопросу. Возможно, доказательства модели с одной плоскостью сдвига превалируют над аналитическими исследованиями на модели с развитой зоной деформации. Такие исследователи, как Тимме, Пиаспенен, Мерчант, Кобаяши и Томсен предлагают модель с одной плоскостью сдвига. Другие - Пальмер и Оксли, Окушими и Хитоми - основывают свои аналитические исследования на модели с развитой зоной деформации.

В теории обработки резанием общепризнанно, что трение скольжения играет главенствующую роль в процессе износа режущего инструмента. Именно на этой основе базируется современная теория износа и стойкости инструмента (Коновалов Е.Г.). Очевидно, что для повышения его износостойкости следует создать условия, при которых кинематическое трение в контактных зонах будет минимальным.

Решение этого вопроса привело к созданию инструмента с перемещающейся режущей кромкой с задним и передним кинематическим углом равным нулю, так как предлагаемые схемы ротационной обработки в упомянутой классификации не рассматриваются. Кроме этого, проведенные исследования справедливы лишь для рассматриваемых условий обработки и не могут быть распространены на все схемы, методы РО и условия резания, напоминают авторы.

Во второй главе выполнено теоретическое обоснование схемы взаимодействия режущего инструмента и обрабатываемой детали. В этой же главе представлены задачи исследований.

Создание ресурсосберегающего режущего инструмента приводит к необходимости уточнения некоторых характеристик механики взаимодействия контактирующих тел и проведения структурно-параметрического анализа системы. На основе решения задачи теории упругости Г. Герца о сжатии идеально гладких тел с первоначальным контактом по линии и в точке, рассмотрены условия, влияющие на величину площади контакта инструмента и детали. При моделировании процесса были применены оператор Лапласа, коэффициенты Ламе при условии, что отсутствует трение покоя.

Предложено, что площадь контакта можно рассчитать по формуле

$$S_k = P / \sigma_r, \quad (1)$$

где P - сила резания; σ_T – предел текучести обрабатываемого материала.

Однако эти результаты соответствовали гладким поверхностям. Далее контактные задачи развиваются в направлении моделирования шероховатости одной или обеих контактирующих поверхностей на основе модели шероховатой поверхности Арчарда с учетом, что увеличение силы резания при упругом контакте приводит к росту размера контакта.

Условие перехода от упругого контакта к упругопластическому контакту записано следующим образом:

$$h/r \geq 16(\tau_y/E)^2, \quad (2)$$

где h - срезаемый слой; r - радиус режущего лезвия; τ_y - предельное касательное напряжение; E - модуль упругости материала.

Критерий перехода к пластическим деформациям иногда выводят из условия существования некоторого критического значения средних нормальных напряжений на контакте, при которых материал полностью переходит в состояние пластического течения. Для сферической модели такие соображения приводят к зависимости:

$$a/r = k_n \sigma_T (1-\mu^2)/E, \quad (3)$$

где a - диаметр площади контакта; k_n - коэффициент, зависящий от соотношения между σ_T и критическими напряжениями на площади контакта; μ - коэффициент Пуассона.

Если определение геометрических характеристик площади контакта рассматривать на основе моделей шероховатой поверхности, то должны придерживаться следующими основными положениями: контакт с шероховатой поверхностью имеет дискретный характер; элементарные контакты возникают в результате как упругих, так и пластических деформаций; площадь контакта и действующая сила резания связана соотношением

$$S_k = \text{const } N^n,$$

где n - зависит от строения модели; N - действующая нагрузка.

Рассматривается также соотношение между средними напряжениями при контакте двух эллипсов и сферы с эквивалентными радиусами:

$$r_{эл}/r_{сф} = 0,7K_1 [(n+1)n^{-1/2}]^{1/2}, \quad \text{при } n = r_{прод}/r_{поп}, \quad (4)$$

где $r_{эл}$ и $r_{сф}$ - напряжения эллипса и сферы; K_1 - коэффициент зависящий от n ; $r_{прод}$ и $r_{поп}$ - радиус кривизны вершины неровности в продольном и в поперечном направлениях соответственно.

Исследование контактных поверхностей обрабатываемого материала с поверхностью резца ограничивается анализом условий контакта гладкого и шероховатого тел. Шероховатость моделируется сферическими выступами. В ненагруженном состоянии шероховатая поверхность касается гладкой поверхности своей наиболее выступающей неровностью. После приложения нагрузки P контактирующие тела сблизятся на некоторую величину ΔH , при этом вступят в контакт и другие сегменты шероховатой поверхности.

Выделим на расстоянии x от вершины первой из вступивших в контакт неровностей слой толщиной dx . Все неровности, лежащие, в этом слое сблизятся с гладкой поверхностью на величину, равную $(\varepsilon-x)$, где ε - относительное сближение тел, равное h_{\max}/R_{\max} , а $x = X/R_{\max}$ - безразмерная координата. После некоторых комбинаций получим выражение для связи действующей нагрузки

$$P = n_c \int_0^{\varepsilon} P(\varepsilon-x) \varphi'(x) dx, \quad (5)$$

где R_{\max} - радиус режущего инструмента; n_c - глубина внедрения; $\varphi(x)$ - угол, характеризующий положение инструмента.

Если функцию $P(\varepsilon-x)$ выразить через среднее нормальное давление на контакте $p_r(\varepsilon-x)$, и проекцию площади единичного контакта на плоскость, параллельную гладкой поверхности, выразить как αS_0 , то получим

$$P = \pi R_{\max} n_c \alpha [2 \int_0^{\varepsilon} p_r(\varepsilon-x) \varphi'(x) dx - R_{\max} \int_0^{\varepsilon} p_r(\varepsilon-x)^2 \varphi'(x) dx], \quad (6)$$

где S_0 - площадь контакта; α - коэффициент, зависящий от характера деформации в контакте.

В полученном соотношении величины α , $(\varepsilon-x)$, p_r зависят от вида деформаций и поэтому, в общем случае, оно приобретает разные формы в зависимости от свойств контактирующих тел. Далее при моделировании процесса вводятся модули упругости и коэффициенты Пуассона и записываются через гамма-функцию с учетом характеристического распределения неровностей: коэффициент поперечной деформации ν и ширина срезаемого слоя b с применением контурного давления p_c . Приведено уравнение для расчета диаметра площади упругого контакта d_r .

Рассмотренные выше соображения позволяют установить влияние различных условий контакта в том случае, когда тела тангенциально неподвижны. Однако при ротационном резании

наряду с нормальным контактом, как правило, осуществляется и взаимное перемещение друг относительно друга режущего инструмента и обрабатываемой детали.

Для дальнейшего исследования принимаем определенные условия: пусть на всей площадке контакта имеет место двучленный закон трения: $\tau_{xy} = \tau_0 - k\sigma_y$. Силу, действующую, на обрабатываемую поверхность рассмотрим, как нормальную P и тангенциальную T . В системе координат, связанной с твердым телом, будут иметь место следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 0 \quad (-\infty < x < -a, b < x < +\infty); \\ v = f(x) + \eta, \tau_{xy} = \tau_0 - k\sigma_y \quad (-a < x < b), \end{aligned} \quad (7)$$

где v - нормальная компонента смещений на границе $y = 0$; $f(x)$ - форма контактирующей поверхности твердого тела.

Используя интеграл Коши, частный случай задачи Гильберта-Риммана определяется с помощью системы уравнений, описывающих давление на площадке контакта.

Полученное соотношение свидетельствует о том, что давление на площадке контакта зависит только от пьезокоэффициента молекулярной составляющей силы трения k и, следовательно, в задачах, аналогичной рассмотренной, целесообразно использовать закон трения Амонтона, то есть давление на площадке контакта, определяемое как $\tau_{xy} = -k\sigma_y$, может быть использовано и при других состояниях поверхности твердого тела.

Наряду с другими аспектами распространения тепла, определение теплопроводности контактирующих материалов потребовало применение аналитических исследований, позволяющих определить проникновение температурного поля перпендикулярно обрабатываемой поверхности.

При резании металлов, возникающее тепло, распределяющееся между обрабатываемым изделием и инструментом, рассеивается в окружающую среду.

Введём безразмерную величину α , показывающую, какая часть теплового потока направляется в одно из контактирующих тел. Её можно назвать коэффициентом распределения теплового потока. Тогда можно записать

$$\begin{cases} Q_1 = \alpha Q \\ Q_2 = (1-\alpha) Q \end{cases} \quad (8)$$

где Q_1 и Q_2 – количество тепла, поступающее в первое и второе тела; Q – общее количество тепла, возникающее в процессе резания.

С другой стороны известно, что

$$\alpha = \frac{\lambda_1 \sqrt{a_2}}{\lambda_2 \sqrt{a_1}}, \quad (9)$$

где λ_1 и λ_2 - теплопроводность первого и второго тела; a_1 и a_2 - температура проводности первого и второго тела. С учётом теплоотдачи распределение тепловых потоков примет вид:

$$1 - \alpha = \frac{\sqrt{\pi\sigma^1}}{\sqrt{\pi\sigma^1} + \sqrt{\rho c v}}, \quad (10)$$

где ρ - плотность; c - удельная теплоёмкость; v - скорость скольжения; σ^1 - коэффициент теплоотдачи.

Далее рассмотрено температурное поле при фрезеровании материала, не прогреваемое на всю глубину за один рабочий ход.

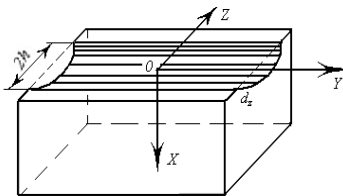


Рис. 1 - Тепловая схема полосового источника

По поверхности полубесконечного тела (рис. 1) движется полосовой источник тепла шириной $2h$ и бесконечно протяженный вдоль оси y , являющейся его осью симметрии. Плотность теплового потока по всей поверхности источника будем считать постоянной.

Начальную температуру детали для простоты записи целесообразно принять равной нулю. Систему координат свяжем с источником тепла. В этом случае можно считать, что теплопроводящая среда движется со скоростью продольной подачи в отрицательном направлении оси z . Приняв такую схему, можно сформулировать задачу математически. Она сводится к решению уравнения теплопроводности или фундаментальному решению уравнения теплопроводности для точечного источника на поверхности детали, удовлетворяющего условию теплообмена третьего рода на границе, в движущейся системе координат. В отличие от предыдущего решения, где конечное количество тепла Q , мгновенно выделяющегося в бесконечно малом объеме, создает в начальный момент бесконечно большую температуру, последнее

приведенное выражение описывает процесс выравнивания температуры от бесконечно малого количества тепла. Температура в точке приложения такого источника даже в начальный момент конечна. Все температурное поле будет суммой таких полей от элементарных источников, распределенных по полосе контакта.

Известно (Аршинов В.А., Алексеев Г.А., Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.), что основными источниками тепла при резании пластических металлов является работа. В основном работа затрачивается на пластические деформации в срезаемом слое и в слоях, прилегающих к обработанной поверхности и поверхности резания, а также на преодоление трения по передней и задней поверхности реза. Применяв теорему Лагранжа к разности притока тепла с использованием теплоемкости вещества цилиндра c , плотности вещества цилиндра ρ ($\rho \Delta x S$ – масса элемента цилиндра), приведены уравнения для определения притока тепла.

Приравнявая выражения одного и того же количества тепла $\Delta Q_1 - \Delta Q_2$, получим:

$$k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x S \Delta t = c \rho \Delta x S \frac{\partial u}{\partial t} \Delta t \quad \text{или} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{c \rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

Обозначая $\frac{k}{c \rho} = a^2$, окончательно получаем уравнения распространения тепла или уравнение теплопроводности в однородном цилиндре:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (11)$$

К задаче распространения тепла в ограниченном цилиндре сводятся физические задачи в том случае, когда цилиндр столь длинный, что температура во внутренних точках цилиндра в рассматриваемые моменты времени мало зависит от условий на концах цилиндра. Если цилиндр совпадает с осью O_x , то математически задача формулируется следующим образом, приняв интеграл Пуассона о распространении тепла, преобразуя его получим:

$$u^*(x, t) = \frac{\varphi(\xi) \Delta x}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{(\xi-x)^2}{4a^2 t}}, \quad x_0 < \xi < x_0 + \Delta x. \quad (12)$$

Формула (7) дает значение температуры в точке цилиндра в любой момент времени, если при $t = 0$ всюду в цилиндре температура $u^* = 0$, кроме отрезка $[x_0, x_0 + \Delta x]$, где она равна $\varphi(x)$.

Сумма температур вида (6) и дает решение интеграла Пуассона. Заметим, что если ρ – линейная плотность материала цилиндра, c – теплоемкость материала, то количество тепла в элементе $[x_0, x_0 + \Delta x]$ при $t = 0$ будет определяться как:

$$\Delta Q \approx \varphi(\xi) \cdot \Delta x \cdot \rho \cdot c. \quad (13)$$

Рассмотрим далее функцию

$$\frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{(\xi-x)^2}{4a^2 t}}. \quad (14)$$

Сравнивая ее с правой частью формулы (7) с учетом (8), можно получить значение температур в любой точке цилиндра в любой момент времени t , если при $t = 0$ в сечении ξ был мгновенный источник тепла с количеством $Q = c \cdot \rho$.

При изучении распространения тепла в ограниченном теле необходимо к уравнению теплопроводности и к начальному условию добавить условия на границе тела, которые в простейших случаях являются граничными условиями первого, второго или третьего рода. Рассмотрены задачи Штурма-Лиувилля с граничными условиями для решения уравнения теплопроводности. Для решения краевых задач теплопроводности и с неоднородными граничными условиями использована произвольная функция, подлежащая определению в интервале длины режущего инструмента уравнением Лапласа.

Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными дает основание уточнить коэффициенты, входящие в расчетные зависимости с целью приближения их к реальной картине, реализуемой в технологическом процессе.

Приведенные математические выкладки позволяют обоснованно планировать экспериментальные исследования и трактовать получаемые эмпирические результаты ротационного резания.

В третьей главе рассматривается методика проведения исследований. Решение задач в исследованиях требует уточнения ряда определений, специфичных для ротационного режущего инструмента. Приведены обозначения введенных геометрических и установочных параметров разработанного ротационного режущего инструмента. Указанные определения необходимы при исследовании нового способа обработки.

Отличия ротационного резания от традиционных методов обработки потребовали применение аналитических и экспериментальных исследований, которые позволили определить

фактические геометрические параметры инструмента и обусловили особенности процесса стружкообразования, а также износа рабочих поверхностей и стойкости инструмента. В процессе решения задач проводились измерения температуры, силовых характеристик процесса и изучение шероховатости обработанной поверхности.

Эксперименты проводились на универсальных токарно-винторезных станках моделей: 1К62, 16К20 (рис. 2). Были разработаны и изготовлены специальные оправки для ротационного точения и инструменты из быстрорежущих сталей (рис. 3, 4).

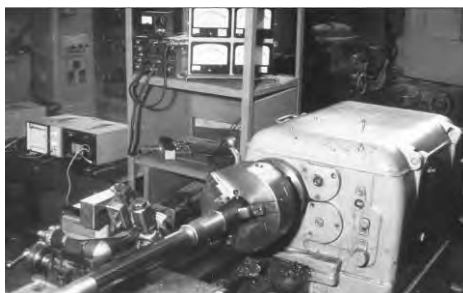
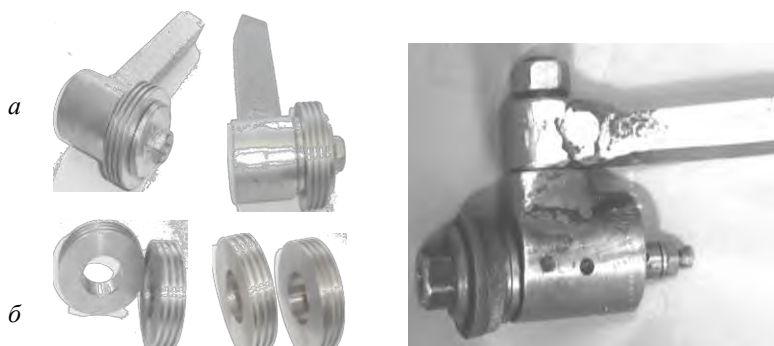


Рис. 2 - Общий вид экспериментальной установки



2

Рис. 3 - Оправка для ротационной обработки (а) и многолезвийные ротационные режущие инструменты из быстрорежущей стали Р6М5(б), установленная оправка в резцедержатель токарного станка (в), однолезвийный ротационный резец (г)



Оправка с установленным в ней многолезвийным ротационным режущим инструментом предназначена для обработки наружной поверхности тел вращения, а также для торцевой обработки. Устанавливается оправка в резцедержатель токарного станка наряду с обычными стандартными резцами (рис. 3, в).

Представленная на рис. 3, а оправка считается однопозиционной, так как державка и корпус оправки соединены сваркой. Но при проведении экспериментов применялись и другие оправки для изменения геометрических и установочных параметров (рис. 4).

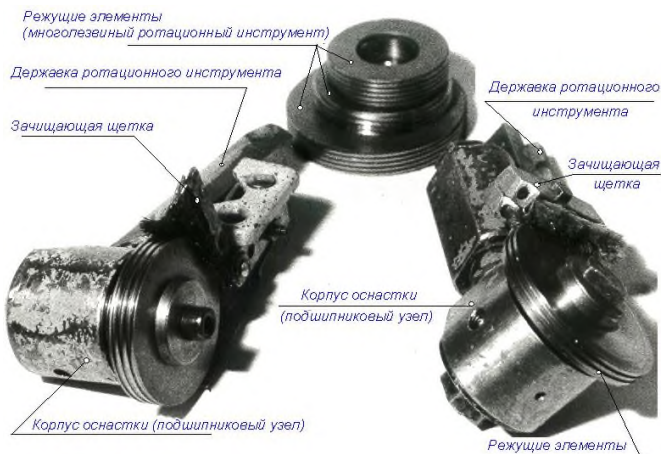


Рис. 4 - Оправка для проведения экспериментов с возможностью изменения в резцедержателе положения режущих элементов в вертикальной и горизонтальной плоскости

Для изучения характера стружкообразования проводилось визуальное наблюдение, при котором можно исследовать размеры и формы зоны деформации и составить внешнее представление о том, как срезаемый слой последовательно превращается в стружку при РО. Начальные опыты по изучению стружкообразования проводились при минимально возможных скоростях резания (2...3 м/мин) для исключения влияния других факторов процесса резания (изменение кинематических параметров, температуры и т.д.). Кроме того, при малых скоростях резания можно получить картину стружкообразования. При этом измерению подвергались величина контакта ψ , угол схода и длина стружки, а также, сломав сдвигаемый слой до начала линии скалывания, значения угла сдвига β_1 . Другие параметры режимов резания, установочные углы и геометрические значения инструмента варьировались таким

образом, чтобы они не так сильно способствовали повышению температуры и изменению других факторов. Режимы резания, установочные и геометрические параметры принимались в следующих диапазонах: подача $S = 0,07 \div 0,95$ мм/об; глубина резания $t = 0,25 \div 6$ мм; угол поворота оси резца в вертикальной плоскости $\beta_y = 5^\circ \div 50^\circ$.

Исследование стружкообразования требует использование заготовок из вязких и упрочняющихся при деформации материалов, склонных к образованию нароста, такие как алюминий АЛ70, латунь Л68 ($\sigma_b = 320$ Па; НВ 55), а также широко применяемые при исследованиях сталь 40Х ($\sigma_b = 580$ Па; НВ 183) и сталь 45 ($\sigma_b = 610$ Па; НВ 245), серый чугун СЧ32 ($\sigma_b = 520$ Па; НВ 255). Сталь и чугун применялись и для других опытов при точении и торцевании наружных поверхностей тел вращения.

В экспериментах, проводимых по изучению стойкости многолезвийного ротационного режущего инструмента (МРРИ), а также качества обработанной поверхности, скорость резания V варьировалась от 3 до 120 м/мин.

Основной фактор стружкообразования - коэффициент усадки стружки определялся по известным методикам. Для изучения степени деформированности срезаемого слоя коэффициент усадки стружки не может полностью служить количественным показателем, но дает качественное представление. В связи с чем, были проведены эксперименты по измерению поперечного сечения полученных стружек при РО.

Дополнительно определялся шаг лезвий ω , расположенных параллельно в МРРИ, необходимый для отвода срезанной стружки из зоны резания и для доступа смазочно-охлаждающих технологических сред.

Размеры стружки в поперечном сечении измерялись на инструментальном микроскопе БМИ - 1.

Тепловые явления в процессе резания представляют большой практический интерес, так как теплота, возникающая при обработке, оказывает влияние на состояние обработанной поверхности, на точность обработки, а так же на износостойкость режущего инструмента. Метод естественной терморпары наиболее доступен для ротационного резца. Кроме того, при его использовании можно получить усредненную температуру в контакте рабочих поверхностей с обрабатываемым материалом. Исследования выполнены по общеизвестным методикам (Грановский Г.И., Грановский В.Г., Дерганов Б.С., Резников Л.Н.) при полной электрической изоляции.

Все основные опыты выполнялись в течение 3 - 5 минут, до затупления резца, без применения смазочно-охлаждающей жидкости. Измерение термоэлектродвижущей силы проводилось для каждого режущего лезвия отдельно на специально изготовленных режущих инструментах.

Составляющие силы P_x , P_y , P_z , измерялись динамометром УДМ-600. Перед началом опытов установка тарировалась образцовым динамометром ДОСМ - 3М путём нагружения динамометра в трёх взаимно перпендикулярных направлениях (x , y , z) и разгрузки. Проводили тарировку в разных известных позициях прибора ТА - 5.

Заточка и шлифование ленточки на вершине лезвия производились на универсально - заточном станке модели 312М без охлаждения. Для исключения суммарного биения лезвия относительно оси вращения резцового угла, заточка производилась в собранном виде, а оправка со шлифовальным кругом закреплялась в трехлуччковом патроне токарного станка и оправлялась алмазным карандашом. Также производилась переточка ротационного режущего инструмента. При этом суммарное биение режущего лезвия после заточки резцового узла не должно превышать 0,01 мм.

В четвертой главе рассмотрены статические и кинематические параметры ротационного режущего инструмента, а также зависимости тепловых и динамических характеристик процесса РО от геометрии и установки резца.

Процесс превращения срезаемого слоя в стружку, перемещающейся вдоль касательной к режущей кромке, является осложненным случаем обычного резания. Причин, обуславливающих это, несколько. Превалирующая из них - это вращение инструмента вокруг собственной оси. Второй причиной, которая обуславливает различия, является кинематическое изменение параметров режущей части. Третий фактор, обеспечивающий различие процесса стружкообразования, это условия деформирования. К последнему относятся и размеры контакта инструмента с обрабатываемым материалом.

При контакте с заготовкой ротационный инструмент с цилиндрическими режущими элементами создает кривую поверхность, которая, выдвигаясь, деформирует срезаемый слой металла. Если учесть перемещение режущего элемента, то действующие силы меняются по величине направления.

Для этого рассмотрен контакт режущей части инструмента с обрабатываемой деталью. Точка P (y, z) режущего элемента ротационного инструмента движется вдоль линии L от точки M к

точке N (рис. 5) К точке Р приложена сила F, которая меняется по величине направления при перемещении точки Р, т.е. представляет собой некоторую функцию координат точки Р: $F = F(P)$.

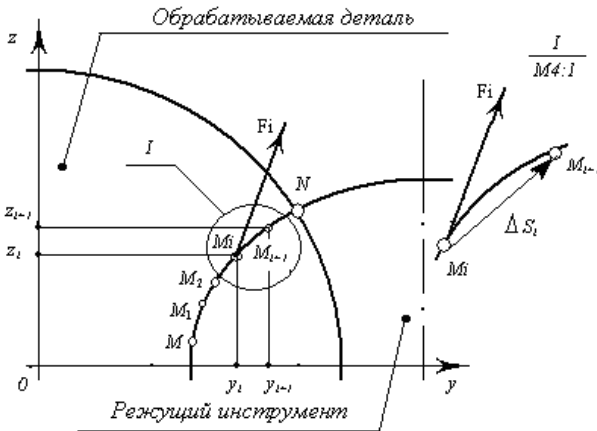


Рис. 5 - Схема сил, действующих на режущую часть инструмента

Вычислена работа A силы P при перемещении точки P вдоль контакта режущего инструмента (хорда MN) с обрабатываемым материалом.

$$A = \lim_{\substack{\Delta y_i \rightarrow 0 \\ \Delta z_i \rightarrow 0}} \sum_{i=1}^n [Y(y_i, z_i) \Delta y_i + Z(y_i, z_i) \Delta z_i] \cdot \quad (15)$$

В этом случае мы можем применить криволинейный интеграл по $Y(y, z)$ и $Z(y, z)$ по кривой L и обозначить так:

$$A = \int_M^{(N)} Y(y, z) dy + Z(y, z) dz \quad (16)$$

Буквы M и N , стоящие вместо пределов интегрирования, заключены в скобки в знак того, что это не числа, а обозначения концов линии, по которой берется криволинейный интеграл. Направление по кривой L от точки M к точке N является направлением интегрирования.

В нашем случае кривая L пространственная, тогда криволинейный интеграл от трех функций $X(x, y, z)$, $Y(x, y, z)$, $Z(x, y, z)$ определяется аналогично:

$$\int_L X(x, y, z)dx + Y(x, y, z)dy + Z(x, y, z)dz =$$

$$= \lim_{\substack{\Delta x_k \rightarrow 0 \\ \Delta y_k \rightarrow 0 \\ \Delta z_k \rightarrow 0}} \sum_{k=1}^n [X(x_k, y_k, z_k)\Delta x_k + Y(x_k, y_k, z_k)\Delta y_k + Z(x_k, y_k, z_k)\Delta z_k].$$

Буква L , стоящая под знаком интеграла, указывает на то, что интегрирование совершается вдоль кривой L . Отметим, что определение криволинейного интеграла остается в силе и в том случае, когда кривая L замкнута. При этом обязательно указывается направление вращения режущего элемента. При изменении направления интегрирования криволинейный интеграл меняет знак, так как при этом ΔS (рис. 5), а следовательно, и его проекции Δx , Δy и Δz меняют знаки.

В процессе срезаемый первым лезвием припуск создает определенное усилие, которое воспринимает ось шпинделя оправки. Так как задняя поверхность участвует в резании, она воспринимает определенные усилия резания, значит, есть и силы реакции. Если напряжение $b_k > 0$, то по сравнению с P_y и P_z сила P_x резко возрастает. Можно предположить, из возникающей силы резания P_x , задняя поверхность пробалансирует определенную часть, которую необходимо рассмотреть математическими методами.

Возникающие под действием внешних сил деформации изменения можно охарактеризовать с помощью вектора смещений u , проекции которого на координатные оси x, y, z будем обозначать как $u(x, y, z, t)$, $v(x, y, z, t)$, $w(x, y, z, t)$. Эти смещения возникают в упругом теле под действием внутренних сил (напряжений), которые образуют симметрический тензор напряжений.

Рассматривая элемент объема и составляя для него уравнения движения, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X, \\ \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y, \\ \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z \end{array} \right. \quad (17)$$

где ρ - объемная плотность в точке (x, y, z) ; X, Y, Z - составляющие внешних объемных сил. Связь напряжений, возникающих при

деформации, с ее характеристиками определяется законом Гука. После некоторых решений и упрощений имеем:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{P} \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} &= \mathbf{G} \left\{ \Delta \mathbf{u} + \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{m} - 2} \frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{x}} \right\} + \mathbf{X}, \\ \mathbf{P} \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial t^2} &= \mathbf{G} \left\{ \Delta \mathbf{v} + \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{m} - 2} \frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{y}} \right\} + \mathbf{Y}, \\ \mathbf{P} \frac{\partial^2 \boldsymbol{\omega}}{\partial t^2} &= \mathbf{G} \left\{ \Delta \boldsymbol{\omega} + \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{m} - 2} \frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{z}} \right\} + \mathbf{Z} \end{aligned} \right\}. \quad (18)$$

Для записи предыдущей системы уравнений в виде одного векторного уравнения используем уравнение Ламе:

$$\mathbf{P} \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \text{grad div } \mathbf{u} - \mu \text{rot } \mathbf{u} + \mathbf{F}. \quad (19)$$

Введем новые обозначения $\mu = G$, $\lambda = \frac{2}{m-2}G$, где μ и λ - постоянные Ламе, потому что G и m являются постоянными в (17). Произвольный вектор \mathbf{F} всегда можно представить в виде суммы

$$\mathbf{F} = \text{grad } U + \text{rot } L,$$

где U - скалярный, а L - векторный потенциал.

$$\text{Положим } \mathbf{u} = \text{grad } \Phi + \text{rot } \Delta,$$

$$\text{где } \mathbf{P} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \Delta \Phi + U, \quad \rho \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} = \mu \Delta \mathbf{A} + L,$$

Φ - объемный потенциал; \mathbf{A} - векторный потенциал.

Следует отметить, что прямой постановкой и определенным таким способом параметр \mathbf{u} действительно удовлетворяет системе уравнений (17), которая правдоподобна при присутствии объемных сил. В уравнениях векторный потенциал \mathbf{A} в некоторых случаях распадается на три скалярных уравнения. При этом приведение уравнений отдельным скалярным уравнениям не может быть просмотрено до конца без применения или привлечения граничных условий, которые могут связывать разные компоненты и тем самым представлять значительные трудности для полного расщепления уравнений.

Если объемные силы отсутствуют, то для потенциалов Φ и \mathbf{A} мы получаем однородные уравнения

$$\rho \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \Delta \Phi, \quad \rho \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} = \mu \Delta \mathbf{A}.$$

Исследование схем резания (рис. 6 и 7) показало, что достигнуты следующие результаты:

а) уменьшена работа деформации, вследствие того, что направление главного движения и движение подачи совпадают;

б) уменьшена работа трения скольжения, так как направление схода стружки V_c , результирующая скорость режущей кромки инструмента V_e и скорость вращения детали V_o так же совпадают по направлению. А возможность регулирования качества обработки поверхности за счет установки позволяет

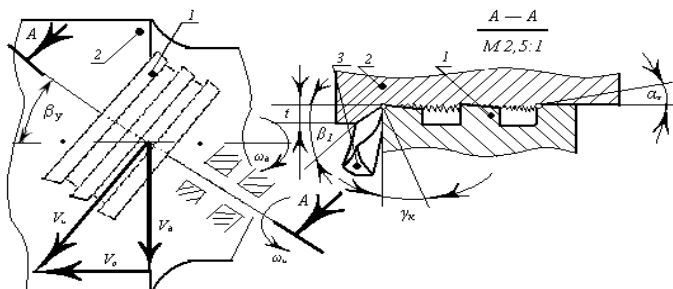


Рис. 6 - Многозевый ротационный резец для точения тел вращения: 1- режущие элементы; 2 - обрабатываемая деталь; 3 - отделяющаяся стружка; β_y - угол установки режущих элементов; β_1 - угол сдвига срезаемого слоя; α_k - кинематический задний угол режущего элемента; γ_k - кинематический передний угол режущего элемента; ω_d , ω_n - угловая скорость детали и режущих элементов соответственно; V_d , V_n - линейная скорость детали; и режущих элементов соответственно; V_p - скорость резания

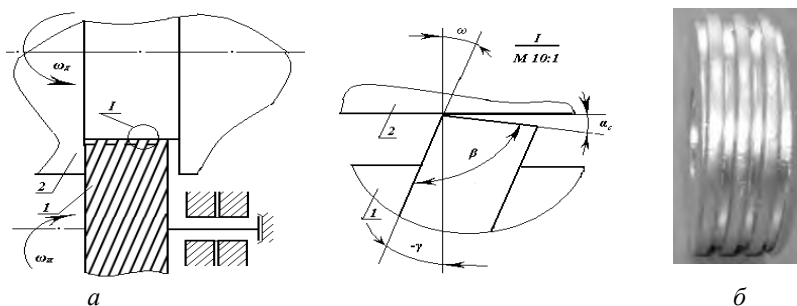


Рис. 7 - Принцип работы многозевыного винтового ротационного резца: схема (а) и фото (б) для опорных участков деталей повышенной точности: 1- режущие элементы. 2 - обрабатываемая деталь. ω_d — угловая скорость детали; ω_n - угловая скорость режущих элементов; ω - угол подъёма по винтовой линии; α_c - статический задний угол режущего элемента; γ_k - статический передний угол режущего элемента; β - угол клина

достичь не только совпадение направлений двух первых (рис. б), но и их равенство по величине;

в) заменено трение скольжения на обкатывание по задней поверхности, что достигается за счет получения отрицательного заднего угла α_k , правильный выбор которого позволит обеспечить выполнение пункта «б», и, кроме этого, непосредственно в процессе обработки появляется возможность управления качеством обрабатываемой поверхности;

г) уменьшена площадь контакта инструмента со стружкой и облегчен сдвиг (угол сдвига β_1) стружки за счет оптимального угла установки β_y и соответствующей конструкции инструмента;

д) появилась возможность кинематического изменения режущих углов за счет соответствующей установки (угол установки β_y в широких пределах (рис. б).

е) прогрессивность - увеличено число режущих кромок (режущие элементы) с выделением по необходимости черновой, чистовой и калибрующих секций. и) Обеспечение высокой и стабильной скорости вращения ротора равной скорости главного движения. Путем изменения углов установки β_y и ϕ резца можно регулировать величину радиуса кривизны в широких пределах.

Режущая кромка 4 зуба разработанной цилиндрической фрезы (рис. 8), соприкасаясь со срезаемым слоем, легко деформирует его по направлению касательной к подаче резания и уводит срезанный слой из зоны резания в виде стружки. Одновременно режущая кромка 5 цилиндрической фрезы, имея значение переднего угла $\gamma = - (22 \div 25^\circ)$, срезает гребешки с обработанной поверхности, выглаживая ее шероховатость. Для подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания струей с высоким давлением предусмотрено отверстие 6.

Замена трения скольжения на трение качения между срезаемым слоем и передней поверхностью режущей кромки зуба цилиндрической фрезы, а также значения заднего угла $\alpha = 5 \div 25^\circ$, минимизируют нарост и прилипание обрабатываемого материала на режущие кромки, исключая скольжение между обработанной поверхностью и фрезой, что приводит к повышению стойкости инструмента и производительности процесса резания.

Непрерывность работы режущей кромки зуба в виде диска цилиндрической фрезы при ее движении по траектории лемнискаты Бернулли исключает вибрации, что позволяет значительно улучшить такие показатели качества поверхности, как снижение отклонения от плоскостности и шероховатость.

В процессе работы статический угол α_c задней поверхности режущего элемента в кинематике α_k достигает нулевого значения.

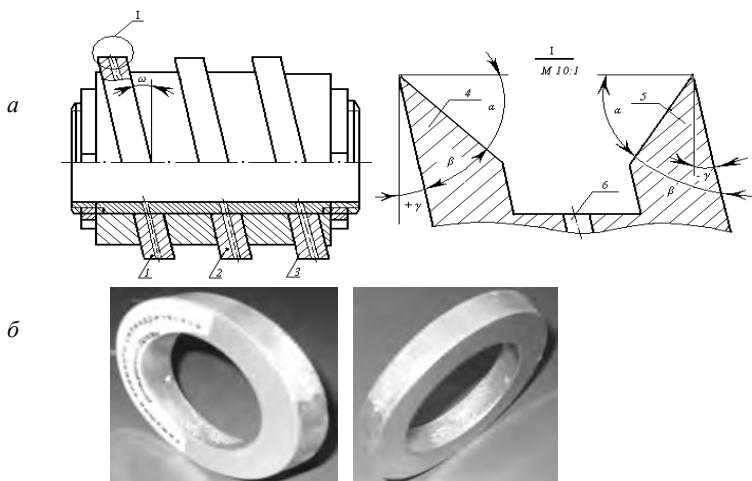


Рис. 8 - Цилиндрическая ротационная фреза (а), фото (б) опытных образцов режущего элемента из Р6М5: ω - угол наклона зуба фрезы; α - статический задний угол режущего клина; γ - передний угол режущего клина; β - угол клина

Тогда кинематический коэффициент $K_v = V_{И} / V_{Д}$ ($V_{И}$ - скорость вращения инструмента; $V_{Д}$ - скорость вращения детали) равен единице, что доказано опытным и аналитическим путем, то есть процесс самовращения будет происходить равномерно.

Специфика процесса резания исследуемого способа такова, что плоскость сдвига (рис. 9), опережая режущую кромку, практически не контактирует с ней. Наличие реальной плоскости сдвига объясняется совпадением направления схода стружки $V_{стр}$ с результирующей скоростью режущей кромки V_c и заменой скольжения на трение качения в контактных поверхностях. В процессе деформации срезаемого слоя получена схема плоского нагружения, которую иногда принято называть схемой «простого сдвига» (Бобров Ф.В.).

Из опытов по измерению угла сдвига β_1 видно, что при некоторых определенных значениях угла установки β_y и подачи S угол сдвига β_1 достигает примерно 45° . В случае, если угол сдвига равен $\beta_1 \approx 45^\circ$, то происходит «чистый сдвиг». Уменьшение интенсивности пластического деформирования срезаемого слоя и трения на передней поверхности инструмента, вызываемое самоперемещением режущей кромки вокруг своей оси, должно сказаться на снижении температуры резания.

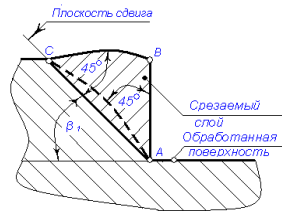
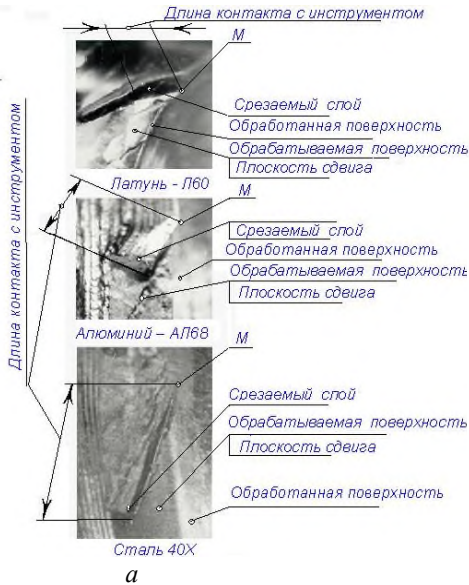


Рис. 9 - Характер плоскости сдвига при обработке материалов (а) и схема определения угла сдвига стружки β_1 (б)

Наиболее характерные результаты измерению сил и температуры приводятся на рис. 10.

В пятой главе описываются процессы деформации и стружкообразование при РО. Приводятся теоретическое исследование расчета активной дуги режущей кромки, а также определение кинематических параметров ротационного инструмента. В связи с криволинейностью режущего лезвия затруднено определение размеров площади контакта (рис. 11).

Все параметры установки, кроме β_y , рассмотрены в кинематике. После уточнения совпадения угла схода стружки и значения угла установки β_{yk} (рис. 12, г), необходимо определить значения β_y в с помощью скорости стружки V_{cm} . $\sin \beta_y = KM'/KM$ следовательно $KM' = KM \sin \beta_y$; $K'M' = L_a \sin \beta_y + S$; $K'M' = V_{cm}$.

Если ротационному резцу, установленному под углом β_y к оси изделия, помимо движения подачи сообщить вращение вокруг его оси, то рабочий угол (кинематический угол) β_{ys} будет равен углу β_{ys} (Базин В.Т.).

$$\beta_{ys} = \beta_y - \arctg \frac{S}{V_{cm}}, \quad \text{тогда}$$

$$\tg \beta_{yk} = \frac{V_{cm} \cos \beta_y S}{\sqrt{V^2 + S^2} + V_{cm} \sin \beta_{ys}} \quad (20)$$

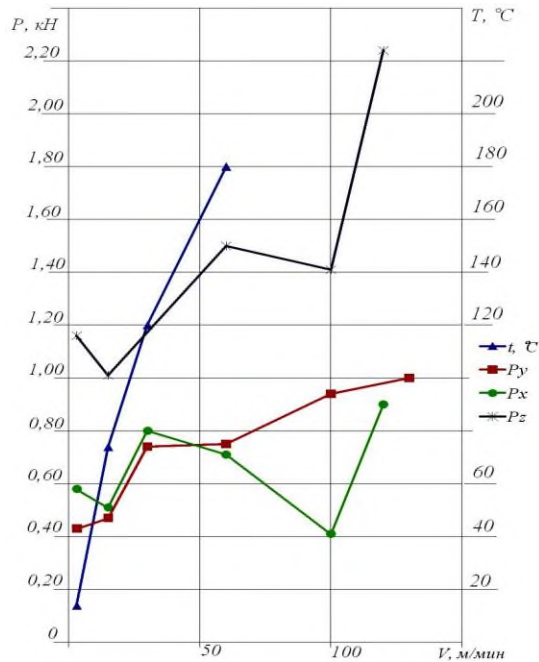


Рис. 10 - Зависимость температуры и составляющих сил резания от скорости резания: режимы резания: $\beta_y = 23^{\circ}$; $t = 1\text{ мм}$; $\alpha = 0^{\circ}$, однолезвийный РР, точка «М» по центру, обрабатываемый материал сталь 45, инструментальный материал Р6М5

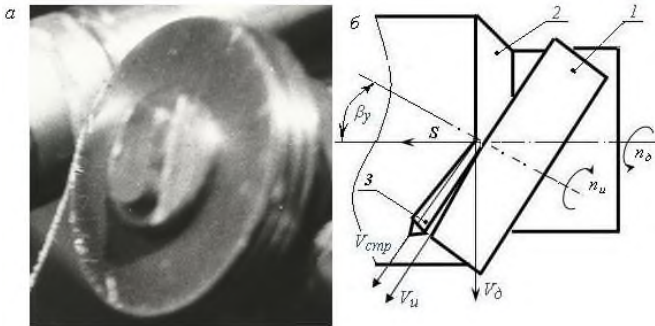


Рис. 11 - Процесс (а) и схема (б) резания многолезвийным ротационным инструментом: 1 – режущие элементы; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – отделяющаяся стружка, β_y - угол установки режущих элементов; ω_d, ω_u - угловая скорость детали и режущих элементов соответственно; V_d, V_u - линейная скорость детали режущих элементов соответственно

Основное внимание в главе уделено вопросу стружкообразования при РО. В начале контакта инструмент с заготовкой в точке М (рис. 9) начинает сдвигать припуск с малой толщиной, а в конце контакта, или же при выходе, сдвинутый слой металла приобретает вид стружки. При РО, благодаря самовращению (без проскальзывания) инструмента, стружка подвергается деформации только с одной стороны, и в результате в сечении получается треугольная форма стружки (рис. 9, б), где сторона \overline{AC} находится с противоположной стороны относительно инструмента, скользящего по поверхности сдвига стружки. Свободной стороной назовем \overline{CB} , так как, она нигде ни с чем не вступает в контакт. Со стороны реза оказывается ребро треугольника \overline{AB} . В любых положениях угла установки поверхность \overline{AB} , получается блестящей и ровной. Причиной этому служит то, что сдвинутая стружка упирается стороной \overline{AB} в переднюю поверхность реза. Сторона треугольника \overline{AC} получается в поперечном сечении прямой. Свободная сторона треугольника \overline{CB} получается вогнутой. Площадь треугольника пропорциональна подаче S , глубине резания t и скорости резания V . Угол схода стружки имеет одинаковые значения с углом установки $\beta_{ук}$. Так как отделившаяся стружка направляется в сторону направления скорости детали, а передняя поверхность инструмента не дает ей этой возможности, то с возрастанием угла установки $\beta_{у}$, возрастает и усадка стружки. Коэффициент усадки стружки K_L дает качественное представление о степени деформированности срезаемого слоя, но не может полностью служить количественным показателем. Поэтому выполнено исследование поперечного сечения стружки, ее формы, твердости и коэффициента поперечного уширения $K_{п}$.

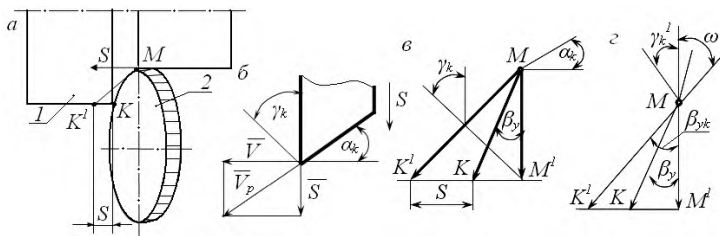


Рис. 12 - Схемы определения кинематических параметров ротационного инструмента: 1- заготовка; 2 ротационный инструмент

Угол установки β_y , влияя на условия деформирования срезаемого слоя, очевидно, оказывает влияние на размеры и на форму стружки. И чем больше угол установки β_y , тем сильнее стружка теряет форму треугольника. При углах установки больше $\beta_y > 50^\circ$ форма треугольника резко меняется, и сдвинутый слой металла превращается в суставчатую стружку, а затем в элементную (при обработке стали 40X).

При значении углов установки и режимах резания, в определенных диапазонах, сечение стружки имеет вид прямоугольного треугольника, и если учесть вогнутость стороны \overline{AC} (рис. 9), то угол $A \approx 45^\circ$, а угол C тоже равняется углу $C \approx 45^\circ$.

С помощью схемы, изображенной на рис. 9, можно вычислить угол сдвига β_1 . Сторона стружки \overline{CA} скользит по поверхности сдвига и должна принять углы $\angle C$ и $\angle A$ по скользящей поверхности. Если $\angle A = 45^\circ$, то β_1 угол сдвига равен $\beta_1 \approx 45^\circ$. Это подтверждает, что при сдвиге срезаемого слоя разрушение металла происходит по диагонали сечения, которая равняется 45° . В этом случае происходит «чистый сдвиг» металла, затрачивается наименьшая энергия, при котором результаты исследования поперечного сечения полученных стружек при ротационной обработке представлены на рисунках 13, 14.

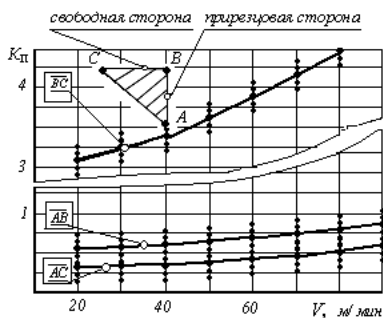


Рис. 13 - Влияние скорости резания V на коэффициент поперечного уширения стружки $K_{\text{п}}$ при угле установки инструмента $\beta_y = 20^\circ$; подаче $S = 0,11$ мм/об; глубине резания $t = 1$ мм; инструментальный материал - Р6М5; обрабатываемый материал - сталь 40X

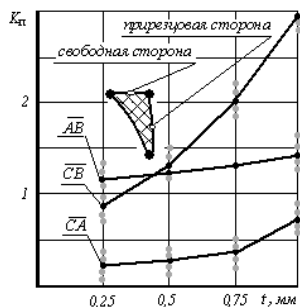


Рис. 14 - Влияние глубины резания t на коэффициент поперечного уширения стружки $K_{\text{п}}$: при скорости резания $V = 3$ м/мин; угле установки инструмента $\beta_y = 30^\circ$; подаче $S = 0,52$ мм/об; инструментальный материал - Р6М5; обрабатываемый материал - сталь 40X

В любых значениях скорости резания форма стружек одинакова, а с увеличением скорости длина сторон ΔABC монотонно возрастает. При увеличении глубины резания t толщина срезаемого слоя возрастает. Следовательно, ожидается уширение стружки в поперечном сечении. При увеличении S поперечные сечения полученного сечения полученной стружки ΔABC возрастают.

Результаты измерений показывают, что с увеличением угла установки, деформирование срезаемого слоя возрастает, так как при углах установки $\beta_y = 10 \div 20^\circ$ твердость не превышает 260 кг/мм^2 , а при $\beta_y < 25^\circ$ твердость больше 290 кг/мм^2 .

Чем больше глубина резания, тем более затруднительно происходит сдвиг слоя, так как резко возрастает длина сторон треугольника \overline{AC} и \overline{BC} (рис. 9) и образуется треугольник с тупым углом.

В шестой главе освещены вопросы стойкости режущих инструментов при РО. Для решения указанных вопросов и определения особенностей изнашивания ротационного инструмента были проведены экспериментальные исследования.

В качестве критерия затупления быстрорежущего инструмента рекомендована длина фаски износа по задней поверхности равная $0,35 - 0,4 \text{ мм}$, и время работы - 30 часов при $V = 50 \text{ м/мин}$; $S = 0,1 \text{ мм}$; $\beta_y = 22^\circ$; $\beta = 20^\circ$.

Благодаря конструкции можно расположить несколько режущих лезвий, предназначенных для черновой, чистовой и финишной обработки поверхности (рис. 2, 3, 4). Прогрессивность, многолезвийность этих ротационных режущих инструментов дает возможность повысить их стойкость, в сравнении с однолезвийным резцом, потому, что глубину резания t можно распределить между лезвиями равномерно, на все имеющиеся лезвия. Многолезвийность позволяет совмещение операций резания и поверхностно-пластическое деформирование. Приведены практические рекомендации заточки режущих инструментов.

Высокая размерная стойкость ротационных инструментов позволяет применять их для обработки изделий, к точности геометрической формы которых предъявляются высокие требования. Особенную практическую ценность такая технология обработки представляет, если габариты детали значительны.

Анализ результатов выявил особенности характера износа инструмента в сравнении с традиционным резцом и полностью подтвердил высказанные предположения.

В седьмой главе приведены результаты исследований, показывающие характерные особенности влияния ротационной обработки на качество обработанной поверхности. Сопротивление деформации изменяется по разным закономерностям. С увеличением скорости резания чугун разупрочняется без заметных изменений интенсивности. Конструкционная сталь 45 с увеличением скорости в целом также подвержена разупрочнению вследствие увеличения температуры Q . Для стали 12X18НЮТ наблюдается такая же зависимость с заметным изменением интенсивности разупрочнения. В диапазоне $V > 0,5$ м/с наблюдается упрочнение.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате выполненных исследований с целью повышения качества изделий решена актуальная проблема в области разработки новых методов обработки деталей резанием.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Разработан ресурсосберегающий способ механической обработки применительно для точения вращающимися режущими инструментами и фрезерования, обеспечивающий высокое качество обработанной поверхности, повышение стойкости режущего клина, при использовании внутренних ресурсов резания и кинематических параметров режущего инструмента с малыми энергозатратами.

2. Созданы оригинальные конструкции многолезвийных ротационных инструментов и определены рациональные условия их эксплуатации, исключая чистовые, финишные и доводочные операции, для обработки труднообрабатываемых, заготовок из вязких и упрочняющихся материалов при деформации, склонных к образованию нароста.

3. Математически смоделированы особенности механики взаимодействия ротационного режущего инструмента и обрабатываемого материала, произведен структурно-параметрический анализ параметров созданного ресурсосберегающего оборудования для резания материалов.

4. Предложены математические зависимости для определения:

- работы, затрачиваемой на пластические деформации в срезаемом слое при ротационной обработке материалов;
- геометрических характеристик площади контакта поверхности обрабатываемого материала с поверхностью резца,

опирающиеся на модельные представления шероховатой поверхности с перемещением тел, находящихся под давлением;

– закономерности распространения тепла при РО материалов для случая задания на границах контакта теплового потока, а также для произвольных граничных условий, удовлетворяющих условиям теплообмена по всей обрабатываемой поверхности, в том числе и под источником.

5. Установлено, что разработанная технология ротационной обработки увеличивает срок службы режущего инструмента на два порядка, т.е. повышает стойкость многолезвийного ротационного инструмента из стали Р6М5 при обработке закаленных сталей до $T = 30$ часов, повышает производительность обработки (в сравнении с традиционным) в $4 \div 8$ раз; позволяет управлять качеством обработанной поверхности с достижением шероховатости $R_a < 0,32$ мкм при относительной длине опорной поверхности $t_p = 65\%$ на уровне сечения профиля $0,6$ мм со степенью деформации в пределах $0,36 \div 0,42$ и упрочнением поверхностного слоя на глубине до $0,5$ мм; снижает среднюю температуру резания на контактных поверхностях до $200 \div 300$ °С; уменьшает усилие резания (сила резания уменьшается на $15 \div 20\%$); сокращает расход инструментального материала.

6. Разработана методика расчета тепловых явлений при многолезвийной ротационной обработке.

7. Установлено, что возникающие при обработке изделий между обрабатываемой поверхностью и инструментом трение скольжения, существенно влияет на температуру в зоне резания, чем больше значение коэффициента трения скольжения μ , тем больше выделяется теплота. Замена трения скольжения на трение качения при ротационной обработке существенно снижает выделяемую теплоту и приводит к повышению стойкости инструмента.

8. Доказано, что уменьшение интенсивности пластического деформирования срезаемого слоя и трения на передней поверхности инструмента, вызываемого самоперемещением режущей кромки вокруг своей оси, в конечном итоге снижает температуру резания.

9. Установлено, что различия микрорельефов поверхностей (по форме, шагу микронеровностей и другим параметрам), обработанных шлифовальным кругом и многолезвийным ротационным инструментом, не существенны.

10. Результаты исследований внедрены на АО «Карданвал» и ТОО «Механический завод» г. Шымкент Республики Казахстан, а также в учебный процесс по дисциплине «Основы теории

резания» для студентов специальности «Машиностроение» Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауезова.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. **Ходжибергенов Д.Т.** Взаимосвязь между передним углом γ и углом сдвига β при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, Г.С. Мухамадиев // Известие ВУЗов. Журнал Министерства высшей и средне-специальной образования Республики Узбекистан. – Ташкент, 2000. - № 4. - С. 3-5.

2. **Ходжибергенов Д.Т.** Кинематические параметры процесса резания при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А. Абдукаримов // Проблемы механики. Журнал Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2000. - № 1. – С. 66-69.

3. **Ходжибергенов Д.Т.** Ротационная обработка материалов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, И.К. Кушназаров, Г.А. Сагдиев // Мониторинг летательных аппаратов. Международная научно-техническая конференция. – Ташкент, 2000. - С. 34-36.

4. **Ходжибергенов Д.Т.** Качество поверхностного слоя при режуще-упрочняющей обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, И.К. Кушназаров, М.С. Усманов // Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем. Межвузовский сборник научных трудов. - СПб., 2001. - С. 111-113.

5. **Ходжибергенов Д.Т.** Оптимизация технологических операций при выполнении авиаремонтных работ на базе АТБ в аэродромных условиях [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, И.К. Кушназаров, М.С. Усманов // Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем. Межвузовский сборник научных трудов. - СПб., 2001. - С. 114-117.

6. **Ходжибергенов Д.Т.** Изменение параметров площади контакта при тангенциальном перемещении тел [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Мониторинг летательных аппаратов. Международная научно-техническая конференция. – Ташкент, 2003. - С. 33-35.

7. **Ходжибергенов Д.Т.** Тепловая задача для процесса многолезвийного ротационного резания [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Наука и образование Южного Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Процессы аппараты. – Шымкент, 2005. – С. 166-169.

8. **Ходжибергенов Д.Т.** Особенности механики взаимодействия ротационного инструмента и материала

обрабатываемой детали [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Механика и моделирование процессов технологии. Научно - теоретический журнал. Тараз, 2005. - С. 224-226.

9. **Ходжибергенов Д.Т.** Управление качеством обрабатываемой поверхности [Текст] / Р. Алшерова, Ш. Оразымбетов, Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусупбеков // Стратегия вхождения Казахстана в число 50 наиболее конкурентоспособных стран мира. 9-я студенческая конференция по естественным, социально-гуманитарным и экономическим наукам. – Шымкент, 2006. - С. 254-266.

10. **Ходжибергенов Д.Т.** Управление качеством обработанной поверхности при многолезвийной ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, О.Б. Камбарова // Поиск. Научное приложение международного журнала. «Высшая школа» Казахстана Министерство образования и науки Республики Казахстан. Серия естественных и технических наук. – Алматы, 2006. - С. 274-276.

11. **Ходжибергенов Д.Т.** Влияние режимов резания на стойкость и износ при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, С. Абдраимов, О.Б. Камбарова // Поиск. Научное приложение международного журнала. Серия естественных и технических наук. «Высшая школа» Казахстана Министерство образования и науки Республики Казахстан. – Алматы, 2006. - С. 276-280.

12. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ процессов механической обработки материалов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, С. Абдраимов, А.К. Жусупбеков // Совершенствование взаимосвязи образования науки в XXI веке и актуальные проблемы получения качества подготовки высококвалифицированных специалистов. Труды международной научно- методической конференции. – Шымкент, 2006. - С. 208-209.

13. **Ходжибергенов Д.Т.** Способ обработки материалов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, С. Абдраимов, А.Д. Кадырбеков // Совершенствование взаимосвязи образования науки в XXI веке и актуальные проблемы получения качества подготовки высококвалифицированных специалистов. Труды международной научно- методической конференции. – Шымкент, 2006. - С. 209-210.

14. **Ходжибергенов Д.Т.** Исследование влияния режимов резания при многолезвийной ротационной обработке на качество обработанной поверхности [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, В.Н. Печерский // Труды университета. Караганда: Карагандинский государственный технический университет, 2006. - С. 42-43.

15. **Ходжибергенов Д.Т.** Влияние кинематических схем при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, А.Д. Кадырбеков, Ж. А. Садыков // Индустриально-инновационное развитие - основа устойчивости экономики Казахстана. Международная научно-практическая конференция. – Шымкент, 2006. - С. 444-446.

16. **Ходжибергенов, Д.Т.** Многолезвийная ротационная обработка материалов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, Д.С. Мырзалиев, И.К. Кушназаров // Роль и задачи образовательных учреждений в формировании основ «Умной экономики». Республиканская научно-практическая конференция. - Шымкент, 2007. Том –VI. - С. 100 – 102.

17. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ деформаций обрабатываемой поверхности при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, В.Н. Печерский // Наука и образование Южного Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Механика и машиностроение. – Шымкент, 2007. - № 2 (61). - С. 146-149.

18. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ распространения температуры резания при ротационной обработке материалов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, В.Н. Печерский // Наука и образование Южного Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Механика и машиностроение. – Шымкент, 2007. - № 4 (63). - С. 31-34.

19. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ кинематических параметров ротационного инструмента [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, Ж.А. Садыков // М. Ауезовский нового времени. Международная научно-практическая конференция. – Шымкент, 2007. Том № 10. - С. 120-123.

20. **Ходжибергенов Д.Т.** Металлдарды зерттеу және сынау тәсілдері [Текст] / А.К. Жусипбеков, Д.Т. Ходжибергенов, Ж.А. Садыков, Д.С. Мырзалиев // Оқу құралы. - Шымкент: М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Мемлекеттік университеті, 2007. - 108 б.

21. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ процессов механической обработки [Текст] / А.Тохтамуратов, Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков // Научно-техническое пространство. Труды научно-практической конференции студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых.– Шымкент, 2008. - С. 74-75.

22. **Ходжибергенов Д.Т.** Упрочнение обработанной поверхности при резании [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, В.Н. Печерский, А.К. Жусипбеков // Наука и образование Южного

Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Машиностроение. – Шымкент, 2008. - № 3(68). - С.129-132.

23. **Ходжибергенов Д.Т.** Методика экспериментального изучения стружкообразования при резании металлов [Текст] / М.Д. Ахметов, И. Бултачиев, А.Ж. Умирзаков, Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков // Интеграции науки и производства – творчество молодых. Научно-практическая конференция студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых. – Шымкент, 2009. – С. 36-39.

24. **Ходжибергенов Д.Т.** Измерение температуры в зоне резания металлов [Текст] / Н.Ж. Аскаров, К.М. Кистаубаева, А.Ж. Умирзаков, Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков // Интеграции науки и производства – творчество молодых. Научно-практическая конференция студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых. – Шымкент, 2009. – С. 39-42.

25. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ угла сдвига β_1 при обработке металлов резанием [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, В.Н. Печерский, А.К. Жусипбеков // Механика и моделирование процессов технологии. Научно-теоретический журнал. Тараз, 2008. - № 2. - С. 190-192.

26. **Ходжибергенов Д.Т.** Распространение тепла при многолезвийной ротационной обработке металлов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Наука и образование Южного Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Машиностроение. – Шымкент, 2009. - № 3(76). - С. 90-93.

27. **Ходжибергенов Д.Т.** Работа, затрачиваемая на пластические деформации в срезанном слое при ротационной обработке металлов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Наука и образование Южного Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Машиностроение. – Шымкент, 2009. - № 6 (79). - С. 138-140.

28. **Ходжибергенов Д.Т.** Инструментальная оснастка для ротационного точения [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, Ж.А. Садыков // Перспективные направления альтернативной энергетики и энергосберегающие технологии. Труды международной научно-практической конференции. – Шымкент, 2010. - С. 174-176.

29. **Ходжибергенов Д.Т.** Разработка методики исследования сил резания при точении ротационным инструментом [Текст] / Н. Аскаров, Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков // Новое десятилетие - новый экономический подъем - новые возможности Казахстана. Научно-практическая конференция студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых. – Шымкент, 2010. – С. 11-13.

30. **Ходжибергенов Д.Т.** Исследования методов износа режущих инструментов и поверхностей детали машин [Текст] / Н.Г. Шадиев, Д.Т. Ходжибергенов, Жусипбеков А.К. // Построим будущее вместе. 14-я научная студенческая конференция по естественным, техническим, социально-гуманитарным и экономическим наукам. – Шымкент, 2011. – С. 13-15.

а. 38 **Ходжибергенов Д.Т.** Влияние различных факторов на силы P_x , P_y , P_z при точении ротационным резцом [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Образование и наука без границ-2010. Материалы VI международной научно-практической конференции - Przemysł (Польша), 2010. – С. 21-25.

31. **Ходжибергенов Д.Т.** Влияние режимов резания на поперечную усадку стружки при многолезвийной ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Техника машиностроения. Научно-технический журнал. – М.: Машиздат, 2011. № 1 (77). - С. 13-16.

32. **Ходжибергенов Д.Т.** Схемы резания процессов лезвийной обработки [Текст] / Б.М. Суннатов, Д.Т. Ходжибергенов // Научные труды Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауезова. - Шымкент. - 2010. - № (1) 19. - С. 185-189.

33. **Ходжибергенов Д.Т.** Прогрессивный метод получения детали [Текст] / Б.М. Суннатов, Д.Т. Ходжибергенов // Ауезовские чтения - 9: Пути инновационного развития науки, образования и культуры в новом десятилетии. Труды международной научно-практической конференции, - Шымкент, 2010. – С. 279-281.

34. **Ходжибергенов Д.Т.** Ротационный способ обработки детали [Текст] / К.Т. Шеров, Д.Т. Ходжибергенов // Известия ВУЗов. Бишкек, 2010. - № 9. – С. 3-5.

35. **Ходжибергенов Д.Т.** Измерение температуры в зоне резания при ротационной обработке [Текст] / Б.М. Суннатов, Д.Т. Ходжибергенов, Н. Г. Шадиев, Д.Ю. Юсвалиева // Развитие в образовании инновационных и информационных технологий – основа качества подготовки специалистов. - Шымкент, 2011. – С. 237-239.

36. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ кинематических схем резания материалов [Текст] / Б.М. Суннатов, Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков // Обновленный Казахстан в мировом пространстве достижения и перспективы развития. Республиканская научно-практическая конференция. - Шымкент, 2011. – С. 306-308.

37. **Ходжибергенов Д.Т.** Особенности многолезвийного ротационного режущего инструмента [Текст] / Б.М. Суннатов, Д.Т.

Ходжибергенов // Naukawa mysl infocrmasynej rowieki-2011. Материалы VII международной научно-практической конференции. - Przemysł (Польша), 2011. – С. 22-27.

38. **Ходжибергенов Д.Т.** Упрочняющая обработка поверхностей пластиком деформированием [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, Шеров К.Т. // Известия ВУЗов. Бишкек, 2010. - № 9. – С 9-11.

39. **Ходжибергенов Д.Т.** Пластические деформации в срезаемом слое при ротационной обработке металлов [Текст] / Б.М. Суннатов, Д.Т. Ходжибергенов // Найовите научни постижения-2011. Материалы VII международной научно-практической конференции. - София (Болгария), 2011. - С 26-29.

40. **Ходжибергенов Д.Т.** Особенности режущего упрочняющего инструмента [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Проблемы механики. Журнал Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2010. - № 3. - С. 66-69.

41. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ температурных явлений ротационной обработки / Д.Т. Ходжибергенов, К.Т. Шеров. // Известия ВУЗов. Бишкек, 2011. - № 6. – С. 9-11.

42. **Ходжибергенов Д.Т.** Срезаемый слой при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Проблемы механики. Журнал Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2010. - № 4. - С. 26-29.

43. **Ходжибергенов Д.Т.** Ротационный режущий инструмент. Патент РК № 24688 [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов., А.К. Жусипбеков, Б.М. Суннатов // Оpubл. 17.10.2011, бюл. № 10.

44. **Ходжибергенов Д.Т.** Патент РК № 24240. Ротационный режущий инструмент [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, Н.Ж. Аскарлов // Оpubл. 15.07.2011, бюл. № 7.

45. **Ходжибергенов Д.Т.** Патент РК № 24239. Цилиндрическая фреза [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, А.К. Жусипбеков, Н.Ж. Аскарлов // Оpubл. 15.07.2011, бюл. № 7.

46. **Ходжибергенов Д.Т.** Основы теории резания: учебное пособие [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // – Шымкент, 2008. - 114 с.

47. **Ходжибергенов Д.Т.** Составляющие силы резания при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, Б.М. Суннатов // Наука и образование Южного Казахстана. Республиканский научный журнал. Серия: Машиностроение. Шымкент, 2011. - № 4 (90). - С. 131-133.

48. **Ходжибергенов Д.Т.** Анализ процесса резания материалов [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, К.Т. Шеров. // Известия ВУЗов. Бишкек, 2011. - № 9. – С. 19-22.

49. **Ходжибергенов Д.Т.** Характер стружкообразования при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, Б.М. Суннатов // Механика и моделирование процессов технологии. Научно-теоретический журнал. – Тараз, 2011. - № 2. - С. 259-262.

50. **Ходжибергенов Д.Т.** Влияние различных факторов на силы R_x , R_y , R_z при точении ротационным резцом [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Техника машиностроения. Научно-технический журнал. – М.: 2012. - № 1 (81). - С. 12-15.

51. **Ходжибергенов Д.Т.** Качество обработанной поверхности при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, К.Т. Шеров // Известия ВУЗов. - Бишкек, 2012. - № 6. – С 3-5.

52. **Ходжибергенов Д.Т.** Исследование угла сдвига при ротационной обработке [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Обработка металлов. Научно-технический и производственный журнал СО РАН. – Новосибирск, 2012. - № 5 (55). - С. 22-27.

53. **Ходжибергенов Д.Т.** Теплопроводность обрабатываемого материала при ротационной обработке металлов [Текст] / К.Т. Шеров, Д.Т. Ходжибергенов // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2012. - № 6. – С. 9-11.

54. **Ходжибергенов Д.Т.** Перспективные подходы к обработке материалов резанием [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Машиностроитель. Производственный научно-технический журнал. – М.: 2012. - № 4. - С. 37-42.

55. **Ходжибергенов Д.Т.** Стойкость ротационного инструмента [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов, К.Т. Шеров // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2012. - № 6. – С. 3-5.

56. **Ходжибергенов Д.Т.** Кесу теориясының негіздері [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Оқулық. – Шымкент, 2012. - 204 б.

57. **Ходжибергенов Д.Т.** Кинематика и динамика процесса ротационной обработки [Текст] / Д.Т. Ходжибергенов // Монография. - Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова, 2012. - 172 с.

58. **Ходжибергенов Д.Т.** Исследование кинематического коэффициента при ротационной обработке [Текст] / К.Т. Шеров, Д.Т. Ходжибергенов и др. // Сейтеновские чтения - 7. Материалы Международной научно-практической конференции. - Кокшетау, 2012. – С. 163-165.

59. **Ходжибергенов Д.Т.** Расчет тепловой задачи для процесса многолезвийного ротационного резания [Текст] / К.Т. Шеров, Д.Т. Ходжибергенов // ИС РК № 0009167. Запись в реестре № 1321 от 16.11. 2012.

КЫСКАЧА МАЗМУНУ

05.02.08 – Машине куруу технология кесиби боюнча техника илимий докторунун окумуштуу даражасына талапкерлик «Темир кесишчү тестерде буюмдарды ротациондук иштетүүчү илимдик негиздерин, технологиясын жана кесишчү аспаптарды иштеп чыгаруу» темадагы Ходжибергенев Давлатбек Тургунбековичтин диссертациясына

Тамыр сөздөр: кесүү, жылышуу бурч, майышуу даражасы, кесүү сөлөкөтү, кесүүчү аспаптын айлануусу, ротациондук иштетүү амалдары, кинематикалык көмөк чоңдук, кесилүүчү катмар, бет, катуулук, бодурлук, айлантып кесүү, мараалык иштетүү, аспаптын жешилүүсү, сыйгалануу сүрүлүү, кесүү ылдамдыгы, жалашуу бет.

Изилдөө объекти: айлантып кесүүчү жана фрезалоонун механикалык иштетүү технологиялык жараяны.

Иш максаты: кесүүчү аспаптардын түзүлүшүн, көмөкчө бекиткичтерди жаратуу жолу менен кесүүчү аспаптардын турактуулугун, өндүрүмдүүлүгүн жогорулатуусун, иштетилген беттин сапатын жакшырткан жана энергосыйымдуулугун төмөндөтүү камсыздоочу материалдарды механикалык иштетүүдө каражат сактоочу экономикалык пайдалуу ыкмаларын иштеп чыгаруу.

Изилдөө ыкмалары жана аппаратурасы: илимий жана эксперименталдуу изилдөөлөр компьютердик технологиянын колдоосу менен машине куруу технологиясынын, кесүү назариясынын, механиканын, физиканын, математикалык статистиканын, маалымат өлчөө техникасынын негизги жоболоруна таянган.

Алынган жыйынтыктары жана алардын жабылыгы: иштетүү технологиясын илимдик негиздери жана ошондой эле, Казакстан республикасынын 3 патенти менен ырасталган, көп миңдүү ротациондук иштетүүчү жабы ыкмасы иштеп чыгарылган; кесүү учурунда тийимдик зонадагы элементардык аянтта пайда болгон кубурлуу кубулуштун физикалык механизми аныкталган; проблемдик иштетүү түрлөрүндөгү мүнөздөмөлөрү аныкталган: кырынды менен алдыкы беттин тийимдик узундугун, тийимдик чыңалуусун жана тийимдик сүрүлүүсүн, жана ошондой эле иштетүү жараянындагы аспаптын алдыкы жана арткы бурчтарынын ролу; кесүү жараянындагы айкалыштырмалуу бекемдөө жана дазмалдоо иштетүү мүнөздүүчүлүгү негизделген.

Жумуштун колдонуу маанилүүлүгү турат: ротациялык аспаптардын конструкциясы жана металл кесүүчү тесереги аспаптардын жабдууларынын жабы конструкциясы боюнча иштетилип чыгып жасалган; кесүүчү тартитерин жана аспаптын геометриялык, орнотуучу өлчөмүнөздөгүчтөрүн, жана ошондой эле ротациондук аспаптардын жана аспаптык жабдуулардын материалдарын тандоосунун усулдук колдонмолору иштеп чыгарылган.

Колдонууга сунуштар: иштеп чыгарылган технология чарыктуу иштетүүчү колдонбостон иштетилип жаткан беттин талаптуу сапатына жетишине мөкмүндүлүк берет.

Колдонуучу аймактар: металлдарды кесип иштетүүчү технологиялык жараянында, ыкма жонуп кесүүчү, жонуучу жана фрезердик тестерде колдонуга мөкмүндү.

РЕЗЮМЕ

диссертации Ходжибергенова Давлатбека Турганбековича на тему: «Разработка научных основ, технологии и режущих инструментов для ротационной обработки изделий на металлорежущих станках» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения

Ключевые слова: резание, угол сдвига, степень деформации, схема резания, кинематический коэффициент, срезаемый слой, поверхность, твердость, шероховатость, точение, финишная обработка, износ инструмента, трение скольжения, скорость резания, плоскость сдвига.

Объект исследования: технологический процесс механической обработки изделий точением и фрезерованием.

Цель работы: Разработка экономически выгодных ресурсосберегающих способов механической обработки материалов созданием конструкции режущих инструментов, вспомогательных оправок, обеспечивающих повышение стойкости режущего инструмента, производительности, улучшение качества обработанной поверхности и снижение энергоемкости.

Методы исследования и аппаратура: научные и экспериментальные исследования были выполнены на базе основных положений технологии машиностроения, теории резания, механики, физики, математической статистики, и с помощью стандартной, информационно измерительной техники с использованием компьютерной технологии.

Полученные результаты и их новизна: разработаны научные основы технологии обработки, а также новый способ многолезвийной ротационной обработки, подтвержденный 3-мя патентами Республики Казахстан; установлен физический механизм явлений, возникающий на элементарном участке контактной зоны; определены характеристики при проблемных видах обработки: длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента, контактные напряжения и контактное трение, а также роль переднего и заднего угла инструмента в процессе обработки; обоснована возможность комбинированной обработки упрочнением и выглаживанием непосредственно в процессе резания.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработана и изготовлена новая конструкция ротационных инструментов и инструментальной оснастки для обработки изделий на металлорежущих станках; разработаны методические рекомендации по выбору режимов резания и геометрических, установочных параметров инструмента, а также инструментальных материалов для ротационных инструментов и инструментальной оснастки.

Рекомендации по использованию: разработанная технология позволяет достичь требуемого качества обработанной поверхности, исключив при этом необходимость применения абразивной обработки.

Область применения: технологические процессы при обработке металлов резанием, способ может быть реализован на токарном, строгальном и фрезерном станках.

SUMMARY

of the dissertation of Hodzhibergenov Davlatbek Turganbekovich on the theme "Development of scientific principles, technology and cutting tools for rotary processing of products at cutting machines" in candidacy for the degree of Doctor of Engineering, speciality 05.02.08 - Engineering Technology

Keywords: cutting, shearing angle, degree of deformation, cutting pattern, kinematic coefficient, shear layer, surface hardness, roughness, turning, finishing, tool wear, sliding friction, cutting speed, the shear plane .

The object of the study. The object of study is the technological process of mechanical processing of products by turning and milling.

Research methods. Scientific and experimental studies have been performed on the basis of the main provisions of engineering technology, theory of cutting, mechanics, physics, mathematical statistics, information- measuring equipment using computer technology.

Objective of the work: The development of cost-effective resource saving ways of mechanical processing of materials by creating the design of cutting tools, auxiliary mounts that enhance the cutting tool life, productivity, improvement of the processed surface quality and reduction of power consumption.

The scientific novelty: the development of scientific bases, processing technology, also the development of a new way of multibladed rotation processing, confirmed by 3 patents of RK; identification of the physical mechanism of the phenomena that occur on the elementary site of contact zone with the processed material; the definition of the characteristics in problem types of processing: the length of contact of cuts with the front surface, contact stress and contact friction, and also the role of the face and outside angle of the tool in the processing; the possibility of combined processing by hardening and smoothing directly in the cutting process.

The practical significance of the work lies in the fact that developed and produced a new design of rotary tools and tooling to handle the product on machine tools, has developed recommendations for the selection of cutting conditions and geometric settings tool, and the tool materials for rotary tools and tooling.

Stage of use (or recommendation on use): The developed technology allows a blade processing to achieve to required quality made on surface, except a need of use an abrasive treatment.

Usage area: in technological processes at processing of metals by cutting, the way method may be realized on turning, planning and milling machine tools.

A handwritten signature in cursive script, appearing to be the initials 'Gut' or similar, written in dark ink.

Ходжибергенов Давлатбек Турганбекович

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ, ТЕХНОЛОГИИ И
РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РОТАЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ
СТАНКАХ**

05.02.08 - «Технология машиностроения»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано к печати 11.11.2013 г.
Формат 60x84 2/16. Объем 1,5 уч. -изд. л.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Тираж 150 экз. заказ №

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б
Кыргызской государственной университет строительства,
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова