



На правах рукописи

БОЛЬШАКОВ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ
ИЗМЕНЕНИЕМ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫХОДЕ ЗУБА ИЗ ЗОНЫ
ОБРАБОТКИ

Специальность: 05.02.07 – Технология и оборудование механической
и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Орел – 2014

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет»

- Научный руководитель: **Амбросимов Сергей Константинович**
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ
ВПО «Липецкий государственный технический
университет»
- Официальные оппоненты: **Валиков Евгений Николаевич**
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Инструментальные и метрологические
системы» ФГБОУ ВПО «Тульский государственный
университет»
Отений Ярослав Николаевич
доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Технология машиностроения» Камы-
шинский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный
технический университет»
- Ведущая организация: ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный
технологический университет"

Защита состоится «27» июня 2014 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.182.06 при ФГБОУ ВПО "Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс" по адресу: 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, д. 29, аудитория 212

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК» (302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29).

Автореферат разослан «30» апреля 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Василенко Юрий Валерьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Конкуренция между производителями машиностроительной отрасли ведёт к постоянному повышению качества и снижению стоимости продукции. Одним из способов достижения этого является повышение эффективности металлообработки (МО), в частности увеличение производительности и стойкости инструмента. Достигается это различными способами: назначением рациональных режимов резания и СОТС, применением усложненных траекторий движений инструмента и использованием комбинированных методов обработки.

Влияние режимов резания на эффективность МО хорошо изучено, применение СОТС может быть использовано как дополнительная мера, в некоторых случаях её применение недопустимо. Применение комбинированных методов обработки влечёт за собой использование дополнительного оборудования или трудности при их реализации. Кроме того, область применения комбинированных методов имеет свои ограничения, что сдерживает их широкое применение.

Одно из перспективных направлений повышения эффективности МО обеспечивается за счет реализации нелинейного согласования между отдельными движениями рабочих органов станка. Современные станки с ЧПУ позволяют реализовывать обработку с весьма сложной кинематикой движений, при этом их возможности используются далеко не в полной мере. Усложненная кинематика может быть использована для повышения эффективности МО в совокупности с перечисленными выше и другими методами, а также в тех случаях, когда применение других способов ограничено или невозможно.

Способ торцового фрезерования один из широко распространённых способов обработки плоскостей, при этом путь, пройденный режущим зубом фрезы в 50 – 100 раз меньше по сравнению с токарным резцом при прочих равных условиях. Причиной такого различия, по мнению исследователей Андреева Г.С., Кабалдина Ю.Г., Симоняна М.М., Лолодзе Т.Н., Чигодаева Н.Е. и др. является прерывистость процесса резания, а точнее периодичность входа и выхода режущего зуба из заготовки. В работах этих исследователей приводятся экспериментальные данные, доказывающие, что изменением условий выхода зуба из заготовки можно повысить стойкость инструмента в 10 и более раз. Рекомендуемая фирмой Sandvik Coromant траектория с дугообразными участками движения торцовой фрезы позволяет повысить стойкость инструмента в несколько раз. Однако, так называемое явление «разгрузочного удара», происходящее при выходе зуба из зоны обработки, до конца не изучено, как не изучены факторы, оказывающие наибольшее влияние на износ инструмента. Существуют различные суждения о причинах разрушения твердосплавного инструмента при периодическом резании: периодическое нагружение задней поверхности инструмента в момент выхода из-под стружки, периодическое нагружение передней поверхности инструмента, силой, обусловленной сопротивлением разрыву образовавшегося заусенца, адгезионное схватывание инструмента со стружкой и её сдвиг в плоскости передней грани, охлаждение режущего зуба во время холостого хода.

Цель работы: повышение износостойкости инструмента и производительности торцового фрезерования изменением условий резания при выходе зуба из зоны обработки.

Задачи исследования:

1. Разработать динамическую модель процесса резания при выходе зуба из зоны обработки, позволяющую оценить напряжение текучести обрабатываемого материала и силу резания.
2. Установить взаимосвязи между динамикой процесса разгрузочного удара и сопутствующими явлениями (температурой резания, усадкой стружки), возникающими при выходе зуба из зоны резания.
3. Выполнить экспериментальные исследования динамических и физико-механических параметров процесса резания, возникающих в краевой зоне.
4. Разработать новый способ торцового фрезерования, обеспечивающий повышение периода стойкости фрезы и производительности торцового фрезерования за счёт снижения негативного воздействия явления разгрузочного удара.
5. Выполнить экспериментальные исследования износа режущих зубьев для нового метода фрезерования.

Научная новизна:

1. Выявлены новые теоретические и экспериментальные закономерности процесса резания при выходе зуба из зоны резания, между объёмом деформируемого материала, скоростью деформации, накопленной деформацией обрабатываемого материала и температурой резания, заключающиеся в повышенном скоростном, деформационном и температурном упрочнении срезаемого слоя, выраженном в возрастании напряжения текучести обрабатываемого материала при уменьшении объёма очага пластической деформации в зоне выхода.
2. Получены сравнительные экспериментальные зависимости износа на передней и задней поверхностях режущего зуба торцовой фрезы от объёма удалённого материала при условиях нулевой, переменной и постоянной минимально возможной толщины срезаемого слоя на выходе зуба из зоны обработки (ВЗЗО) для известных и нового способа торцового фрезерования.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- использованием в работе фундаментальных положений теории пластичности, теории резания.
- данными выполненных экспериментальных исследований и удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов исследований.

Практическая ценность работы заключается в создании способа торцового фрезерования, основанного на эллиптической траектории врезания фрезы в заготовку и обвода ее углов, позволяющей снизить износ инструмента до 2 раз и повысить производительность обработки до 1,5 раза.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: «Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии» (Липецк – ЛГТУ, 17-19.05.2012),

«Фундаментальные проблемы техники и технологии – ТЕХНОЛОГИЯ - 2012» (Орёл – ОрёлГТУ, 5-8.06.2012), «Наукоёмкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении» (Рыбинск – РГАТУ, 3-5.09.2012).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 1 патент, 7 статей опубликованы в журналах по списку ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, содержит 150 страниц основного текста, 87 рисунков, библиографический список, включающий 90 пунктов и приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы, её актуальность, дана краткая характеристика направления исследования, определено научное и практическое значение решаемой проблемы.

В первой главе рассмотрены способы повышения эффективности обработки плоских поверхностей торцовым фрезерованием. Установлено, что способы, связанные с управлением параметрами процесса резания при выходе режущего зуба из заготовки мало изучены, теоретические модели процесса резания в зоне выхода не учитывают многих факторов, и в реальных производственных условиях они практически не применяются. Этому направлению посвящены работы исследователей Андреева Г.С., Кабалдина Ю.Г., Симоняна М.М., Лоладзе Т.Н., Чигодаева Н.Е. и др. Они отмечают, что одним из направлений создания благоприятных условий резания при выходе режущего зуба из заготовки является создание условий обеспечивающих снижение толщины срезаемого слоя или физико-механических характеристик в краевой зоне.

На основании изложенного сделан вывод о необходимости дополнительных теоретических и экспериментальных исследований и разработки модели резания в краевой зоне, позволившей создать способы повышения эффективности торцового фрезерования.

Во второй главе проведён анализ существующих схем и моделей процесса установившегося резания с целью выбора одной из них в качестве исходной при разработке модели резания в краевой зоне. В качестве исходной выбрана модель, разработанная Воронцовым А.Л.

В качестве основополагающего положения предложенной модели выдвинуто допущение, что на определённом расстоянии режущего зуба от выхода из заготовки угол наклона и протяжённость условной плоскости сдвига, а также объём очага пластически деформируемого обрабатываемого материала уменьшаются. На основе этого предположения была разработана поэтапная схема резания в процессе выхода режущего клина из заготовки (рис. 1).

Установившееся резание сменяется переходной зоной в тот момент, когда очаг пластической деформации доходит до свободного торца (рис. 1б). Для этой зоны характерно уменьшение объёма очага пластической деформации при неизменной длине условной плоскости. За переходной зоной начинается зона выхода, когда условная плоскость сдвига выходит на свободный торец заготовки (рис. 1в). Для зоны выхода характерно активное уменьшение угла и длины условной плоскости сдвига, и объёма очага пластической деформации (рис. 1г).

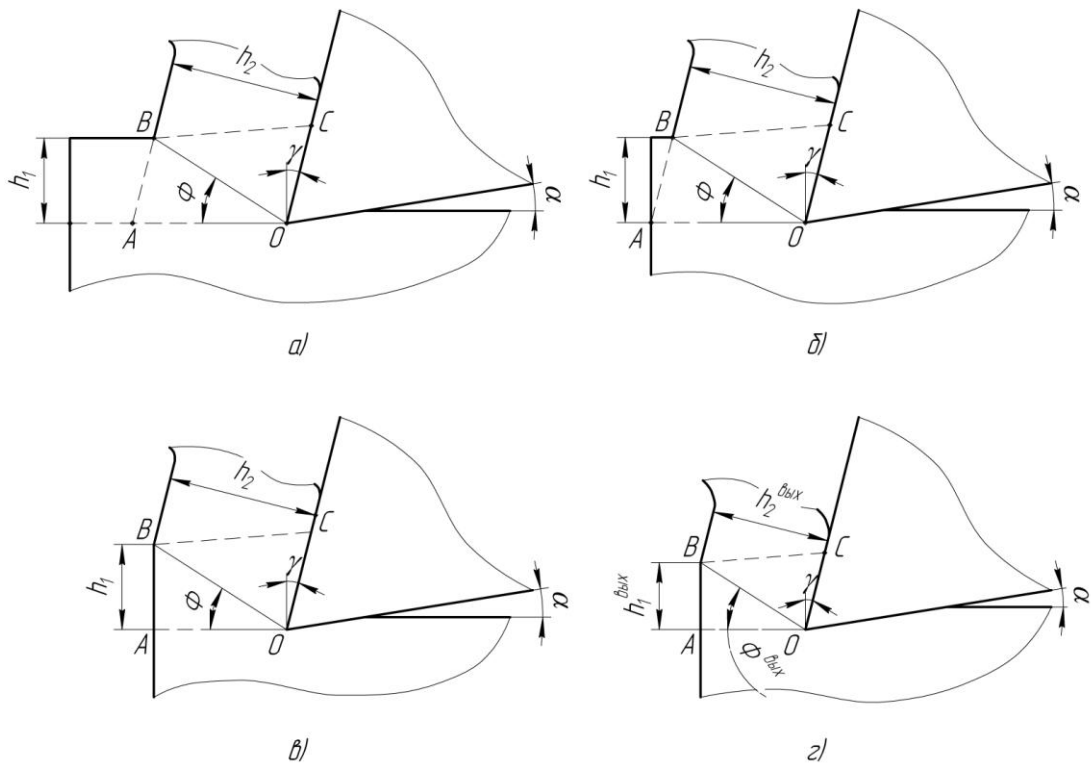


Рисунок 1 – Схема резания с одной условной плоскостью сдвига: а – зона установившегося резания; б – начало зоны перехода от установившегося резания к процессу выхода; в – конец зоны перехода, начало зоны выхода; г – зона выхода

Это сопровождается уменьшением толщины срезаемого слоя h_1 и стружки h_2 , что приводит к возрастанию скорости деформации обрабатываемого материала, которая определяется по выражению:

$$\xi_{иср} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{v_0}{h_2} \cdot \cos \gamma \cdot \left(2 + \sqrt{1 + \frac{1}{3\mu^2 - 1}} \right), \quad (1)$$

где v_0 – скорость резания, γ – передний угол режущего зуба, μ – коэффициент трения по закону Зибеля.

Эти изменения приводят к увеличению коэффициента усадки стружки K_c , доказательством чего служат зависимости K_c от толщины срезаемого слоя для интервалов скоростей резания, исключающих наростообразование, полученные Кривоуховым В.А., Гореловым В.М., Аршиновым В.А., Бобровым В.Ф. и другими исследователями.

Увеличению коэффициента усадки стружки соответствует уменьшение угла Φ наклона условной плоскости сдвига, что тесно связано с увеличением величины накопленной деформации e_i . Эта связь описывается выражением

$$e_i = \frac{\operatorname{tg}(\Phi - \gamma) + \operatorname{ctg}\Phi}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

Характер изменения температуры в краевой зоне установлен по диаграммам пластичности (рис. 2), а также по имеющимся в литературе графикам зависимостей температуры резания (термоэлектродвижущей силе) от толщины срезаемого слоя (рис. 3). Анализ этих экспериментальных зависимостей различных исследователей, позволил сделать предположение, что температура резания в краевой зоне понижается.

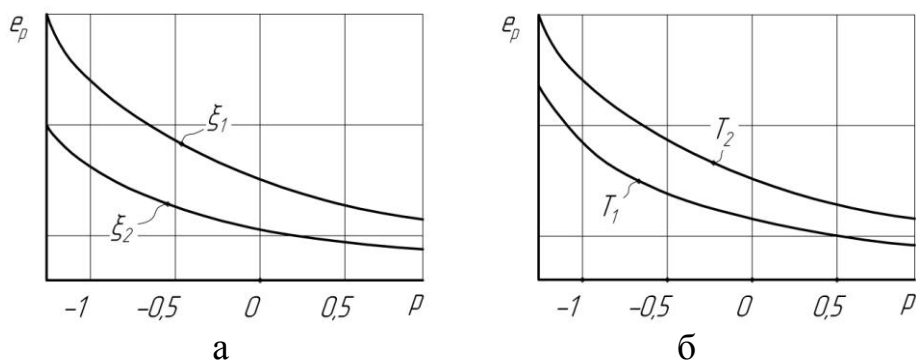


Рисунок 2 – Диаграммы пластичности материала: а - при температурах обработки $T_2 > T_1$; б – при скоростях деформации обрабатываемого материала $\xi_2 > \xi_1$

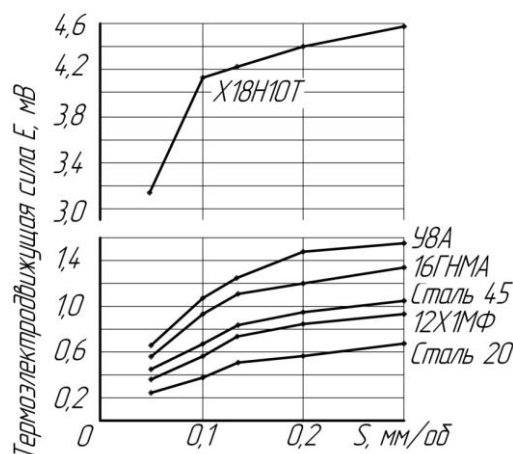


Рисунок 3 – Зависимость термоэлектродвижущей силы (температуры резания) от величины подачи для различных обрабатываемых сталей

На основании данных исследований, по разработанной Воронцовым А.Л. теплофизической модели процесса резания, с учётом описанных выше закономерностей динамического изменения параметров в краевой зоне были проведены теоретические расчеты, указывающие на то, что средняя температура на задней поверхности в зоне выхода ниже приблизительно на $40 - 80^\circ\text{C}$, по сравнению с зоной установившегося резания, что объясняется уменьшением работы силы трения на задней поверхности, связанной с незначительным снижением длины контакта задней поверхности с обработанной поверхностью, а также с уменьшением объёма деформируемого материала впереди режущего клина. Средняя температура на передней поверхности в зоне выхода значительно ниже, (приблизительно на $150 - 350^\circ\text{C}$) по сравнению с зоной установившегося резания. Значительное снижение средней температуры на передней поверхности в зоне выхода приводит к упрочнению обрабатываемого материала, т. е. к увеличению напряжения текучести.

Теоретические исследования характера изменения напряжения текучести в зоне установившегося резания и в зоне выхода от скорости резания v_0 , толщины срезаемого слоя h_1 и переднего угла γ по выражению (3) показали, что в краевой зоне напряжение текучести в $1,5 - 2$ раза выше, чем в зоне установившегося резания.

$$\sigma_s = Y \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon}{b_1}\right)^{m_1} \cdot (b_2 + \xi)^{m_2} \cdot e^{-m_3 T} \cdot e^{-m_4 \varepsilon} \quad (3)$$

где σ_s – напряжение текучести, ε – накопленная деформация, ξ – скорость деформации, T – температура резания, $Y = kA_1A_2A_3$, k – предел текучести, $A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3$ – коэффициенты аппроксимации кривых упрочнения, m_4 – термодинамический коэффициент для учёта температурного разупрочнения, $b_1 = 0,01, b_2 = 0,002-0,003$.

Проведённые расчёты, учитывающие резкое возрастание напряжения текучести в краевой зоне, сопровождаемое снижением длины контакта передней поверхности режущего клина со стружкой, доказали, что это приводит к возрастанию главных напряжений на поверхностях режущего зуба, а также к изменению напряженного состояния в некотором объёме вблизи режущей кромки. При циклическом изменении, характерном для зубьев торцевой фрезы, это может служить причиной зарождения микротрещин и дальнейшего развития макротрещин, приводящих к выкрашиванию и сколам у режущей кромки.

Расчёты силы резания, проведённые на основании теоретической модели показали, что в краевой зоне её величина резко снижается, несмотря на увеличение напряжения текучести. Таким образом, это полностью согласуется со сделанным выше предположением об интенсивном снижении протяжённости условной плоскости сдвига в зоне выхода, так же, как и уменьшении объёма зоны пластической деформации.

Анализ полученных закономерностей изменений параметров процесса резания позволил установить условия обеспечивающие снижение напряжений в краевой зоне: а) за счет снижения подачи на зуб (толщины срезаемого слоя), б) ширины срезаемого слоя, в) изменением физико-механических характеристик заготовки г) наложением на зону выхода дополнительных физических воздействий. Одним из наиболее простых технических решений является снижение толщины срезаемого слоя, которое можно обеспечить за счет изменения траектории движения торцевой фрезы с криволинейными элементами в виде четверти эллипса на участке входа фрезы и участках обвода внешних углов заготовки при обработке плоской поверхности (рис. 4).

Обработку производят на двух координатных фрезерных станках с ЧПУ. Инструменту сообщают главное движение ω_v , доводят до касания с заготовкой в точке, расположенной на торце обработанной поверхности и удалённой от края заготовки на расстояние $d/2+0,2D$, точка 1 (рис. 4). Затем инструменту задают два движения подачи S_x и S_y , лежащих в плоскости фрезерования. Вектор подачи S_y направлен в тело заготовки нормально к её торцу, а вектор подачи S_x повернут на 90° относительно вектора S_y в направлении, обратном направлению главного вращательного движения ω_v .

Подачи S_x и S_y согласуют таким образом, что траектория врезания фрезы представляет собой четверть эллипса, большая ось которого равна диаметру фрезы D , а меньшая определяется по формуле

$$d = D \cdot \frac{(S_z - 2\rho)}{S_z}, \quad (4)$$

где D – диаметр фрезы, S_z - подача на зуб, ρ – радиус округления режущей кромки.

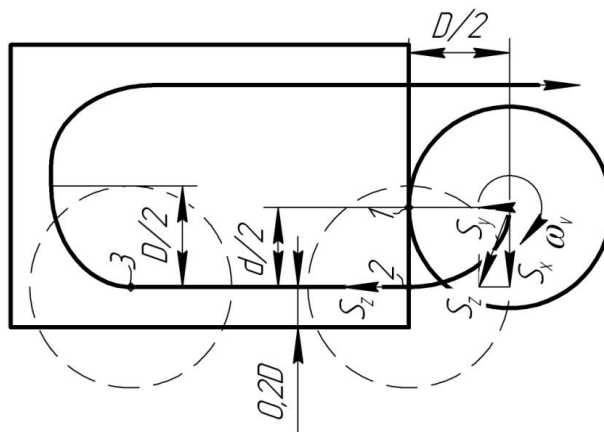


Рисунок 4 – Схематичное изображение процесса обработки плоской поверхности

Нелинейно-согласованные движения подачи прекращают при достижении центром фрезы точки 2 находящейся на пересечении торцевой и обработанной поверхностей, и расположенной на расстоянии $0,2D$ от края заготовки (это положение фрезы представлено пунктирной линией). Затем инструменту сообщается прямолинейное движение подачи, вектор которого направлен в тело заготовки, нормально к малой полуоси эллипса предыдущего криволинейного участка траектории, а величина подачи равна результирующей подаче на зуб S_z . После достижения центром фрезы точки 3, расположенной на расстоянии $d/2 + 0,2D$ от противоположного края заготовки, ей снова сообщают два движения подачи S_x и S_y , лежащих в плоскости фрезерования и согласованных таким образом, что траектория врезания фрезы представляет собой описанную выше четверть эллипса, но повернутую на 90° относительно её первоначального положения в направлении главного движения ω_v . Фрезерование продолжают подобным образом до окончательной обработки всей поверхности.

Предложенный способ обработки позволяет снизить негативное влияние разгрузочного удара, за счет снижения толщины срезаемого слоя до минимума, определяемого радиусом округления режущей кромки. Длина эллиптического участка разработанного способа обработки меньше длины радиусного участка известного способа фирмы Sandvik, что позволяет повысить производительность на криволинейных участках до 1,5 раза. При этом производительность всего способа в целом тем больше, чем меньше суммарная длина прямолинейных участков.

В третьей главе изложена методика проведения экспериментальных исследований.

При проведении экспериментов с целью установления зависимостей микротвёрдости на прирезцовой стороне стружки на участках, соответствующих зоне установившегося резания и зоне выхода от скорости резания, толщины срезаемого слоя и переднего угла, были выбраны заготовки из сталей: 20, У8, Р6М5, 12Х18Н10. Из соответствующих зон стружки изготавливались микрошлифы, после чего на микротвердомере ПМТ-3 проводились измерения микротвёрдости.

При проведении экспериментов с целью установления характера изменения силы резания в процессе резания была выбрана заготовка из стали 40. Измерения силы резания производились тензометрическим и пьезоэлектрическим динамометром на токарном станке. Цилиндрическая заготовка имела паз вдоль образующей для периодического прерывания процесса резания.

При проведении экспериментов с целью определения износа инструмента и производительности обработки при реализации разработанной траектории по сравнению с известными траекториями, заготовки были изготовлены из сталей: 45, X12, 40X13. Испытания проводились на вертикально-фрезерном станке при обработке плоской поверхности торцовой фрезой диаметром 32 мм, оснащённой пластинами из твёрдого сплава T5K10.

При выполнении диссертации использовалась лицензионная версия программы для ПК КОМПАС – 3D V9.

В четвёртой главе изложены результаты экспериментальных исследований.

Изменение величины накопленной деформации оценивалось по размерам перлитных зёрен на прирезцовой стороне стружки (рис. 5).

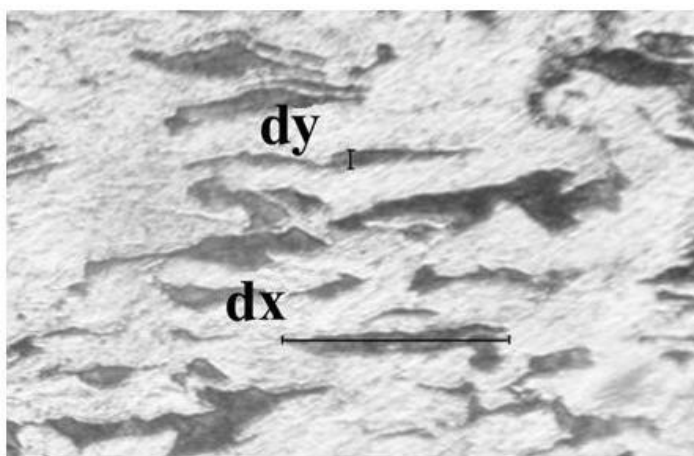


Рисунок 5 – Измерение размера перлитного зерна стали 20 после обработки резанием (dy – ширина зерна; dx – длина зерна)

Установлено увеличение накопленной деформации на 7 – 15% в краевой зоне по сравнению с зоной установившегося резания.

Изменение угла наклона экспериментально определялось по изменению угла наклона текстуры стружки (рис. 6).

После обработки результатов измерения было установлено уменьшение угла Φ наклона условной плоскости сдвига на 40-50% в краевой зоне по сравнению с зоной установившегося резания.

Для оценки величины напряжения текучести обрабатываемого материала производились измерения микротвёрдости на прирезцовой стороне стружки, полученной в процессе свободного ортогонального прерывистого резания при различных режимах резания. Они были переведены в значения напряжения текучести по известному графику зависимости между этими характеристиками для рассматриваемого материала (рис. 7).

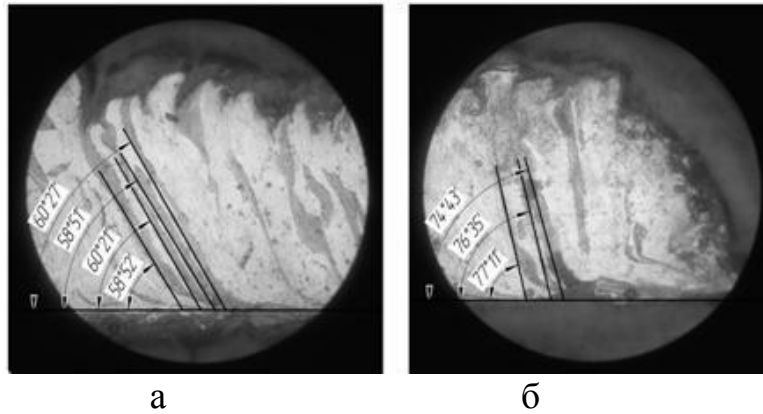


Рисунок 6 – Фотографии микрошлифов торцов стружек для определения угла χ между касательной к прирезковой стороне стружки и направлением текстуры: а – зона установившегося резания; б – зона выхода

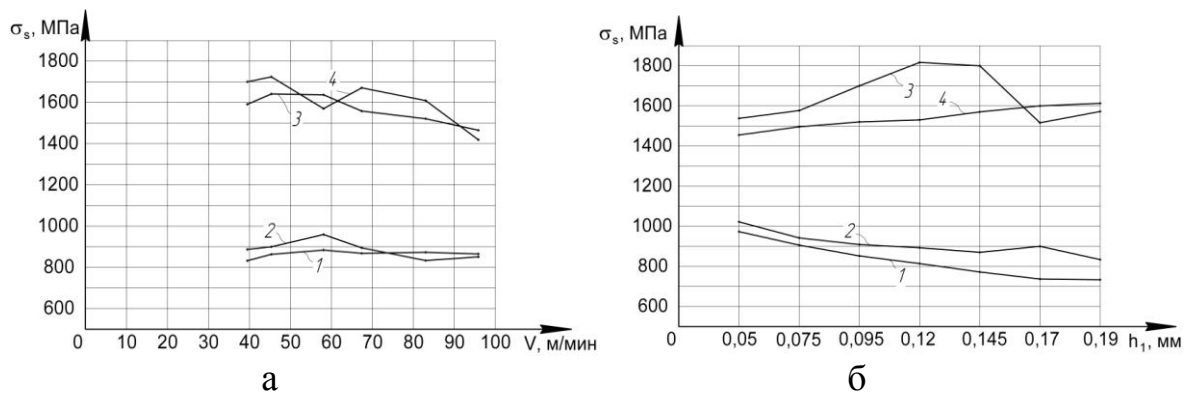


Рисунок 7 – Зависимость напряжения текучести стали 20 от параметров резания: а – от скорости резания; б – от толщины срезаемого слоя. Кривые 1, 2 - соответствуют зоне установившегося резания; 3, 4 – зоне выхода; 1, 3 – получены экспериментальным путём; 2, 4 – теоретико-экспериментальным расчётом

Из полученных результатов следует, что напряжение текучести в зоне выхода возрастает до 2 раз по сравнению с зоной установившегося резания. Установлено, что изменение микротвёрдости на поверхности стружки сталей, относящихся к различным классам, различно (рис. 8 – рис. 10). Это связано с неодинаковой склонностью различных классов сталей к упрочнению.

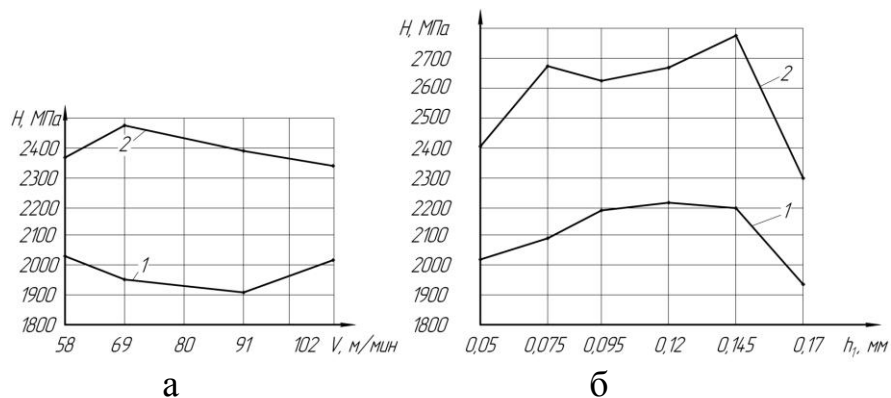


Рисунок 8 – Зависимость микротвёрдости на прирезковой поверхности стружки стали У8 от параметров резания: а – от скорости резания; б – от толщины срезаемого слоя. Кривые 1 соответствуют зоне установившегося резания; 2 – зоне выхода

Были проведены экспериментальные исследования характера изменения силы резания при скоростях резания 5-197 м/мин и поперечной подаче от 0,1 до 0,32 мм/об, результаты представлены на (рис. 11).

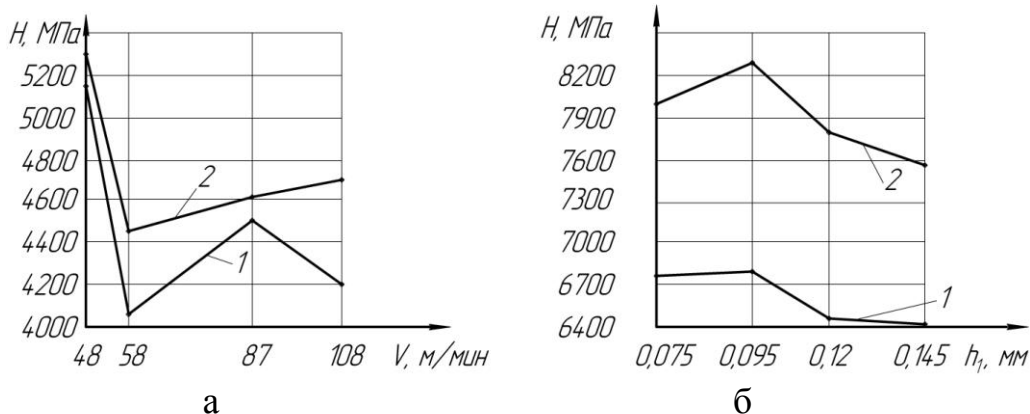


Рисунок 9 – Зависимость микротвёрдости на прирезцовой поверхности стружки стали P6M5 от параметров резания: а – от скорости резания; б – от толщины срезаемого слоя. Кривые 1 соответствуют зоне установившегося резания; 2 – зоне выхода

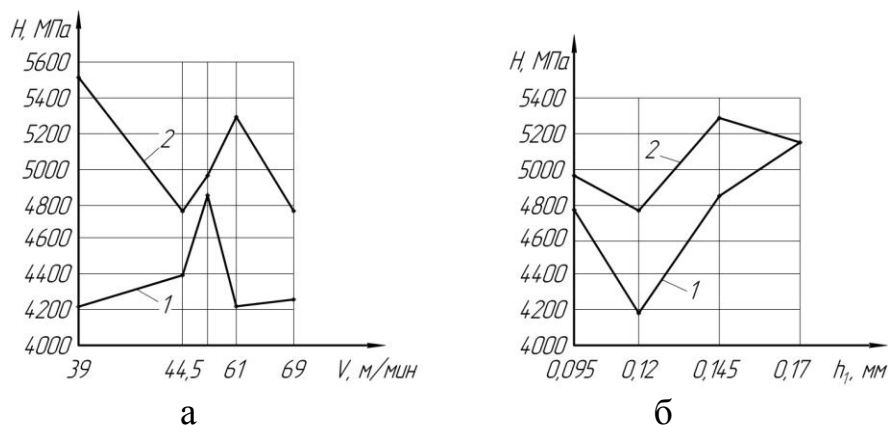


Рисунок 10 – Зависимость микротвёрдости на прирезцовой поверхности стружки стали 12X18N10 от параметров резания: а – от скорости резания; б – от толщины срезаемого слоя. Кривые 1 соответствуют зоне установившегося резания; 2 – зоне выхода

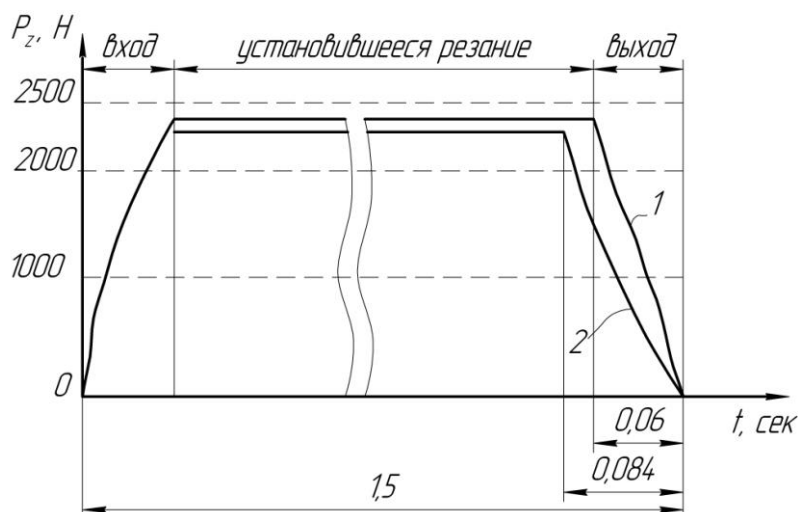


Рисунок 11 – График зависимости, составляющей P_z силы резания свободного ортогонального прерывистого резания стали 45 ($h_1 = 0,32$ мм, $v_{рез} = 5$ м/мин): 1 – кривая, полученная экспериментальным путём; 2 – кривая, полученная теоретическим расчётом

Экспериментальные исследования подтвердили теоретически установленные закономерности изменений параметров процесса резания в краевой зоне. Характер изменения силы резания при различных значениях скорости резания и толщины срезаемого слоя одинаков, что объясняется сделанным предположением о влиянии критического расстояния до выхода режущего зуба из заготовки и как следствие объёма зоны пластической деформации и протяжённости условной плоскости сдвига.

Были проведены исследования износа по передней и задней поверхности зубьев разработанного способа торцового фрезерования с эллиптической траекторией врезания и ранее известными радиусной и траекторией зигзаг (рис. 12).

Экспериментальные исследования эффективности разработанной траектории движения торцовой фрезы показали, что её применение позволяет снизить износ на передней поверхности зуба фрезы до 2-х раз, на задней поверхности в 1,35 раза.

Для оценки во сколько раз эллиптическая траектория позволяет повысить производительность по сравнению с радиусной траекторией, необходимо найти отношение их протяжённостей

$$\Delta = \frac{l_{окр}}{l_{эл}} \quad (5)$$

где $l_{окр}$ – длина окружности; $l_{эл}$ – длина эллипса.

После подстановки в выражение 5 формулы 4 и формул для определения длин окружности и эллипса, получено

$$\Delta = \frac{S_z}{S_z - \rho} \quad (6)$$

Анализ выражения 6 показал, что увеличение производительности будет тем больше, чем меньше величина подачи на зуб при заданной геометрии режущего зуба. Искусственное занижение подачи на зуб нецелесообразно, поэтому данная траектория позволяет получить бóльшую производительность для чистовой обработки, при которой, величина подачи на зуб S_z меньше, чем при черновой обработке, а также для трудно обрабатываемых сталей и сплавов, при обработке которых, подача меньше по сравнению с обработкой конструкционной стали и чугуна. Предложенный способ обработки позволяет снизить негативное влияние разгрузочного удара, за счет снижения толщины срезаемого слоя до минимума, определяемого радиусом округления режущей кромки, а также повысить производительность на криволинейных участках за счёт снижения протяжённости эллиптического участка разработанного способа обработки по сравнению с радиусным участком известного способа фирмы Sandvik Coromant, до 1,5 раза. Таким образом, наибольшее увеличение производительности обработки заготовки будет достигаться в случае минимизации суммарной протяженности прямолинейных участков траектории, что характерно для заготовок, размеры которых соизмеримы с 1,5-2 диаметрами фрезы.

Способ торцового фрезерования с криволинейным врезанием апробирован и внедрён на предприятии ООО НПО «Липецкптицесервис» (г. Липецк) при обработке пуансонов и матриц, годовой экономический эффект 371800 рублей.

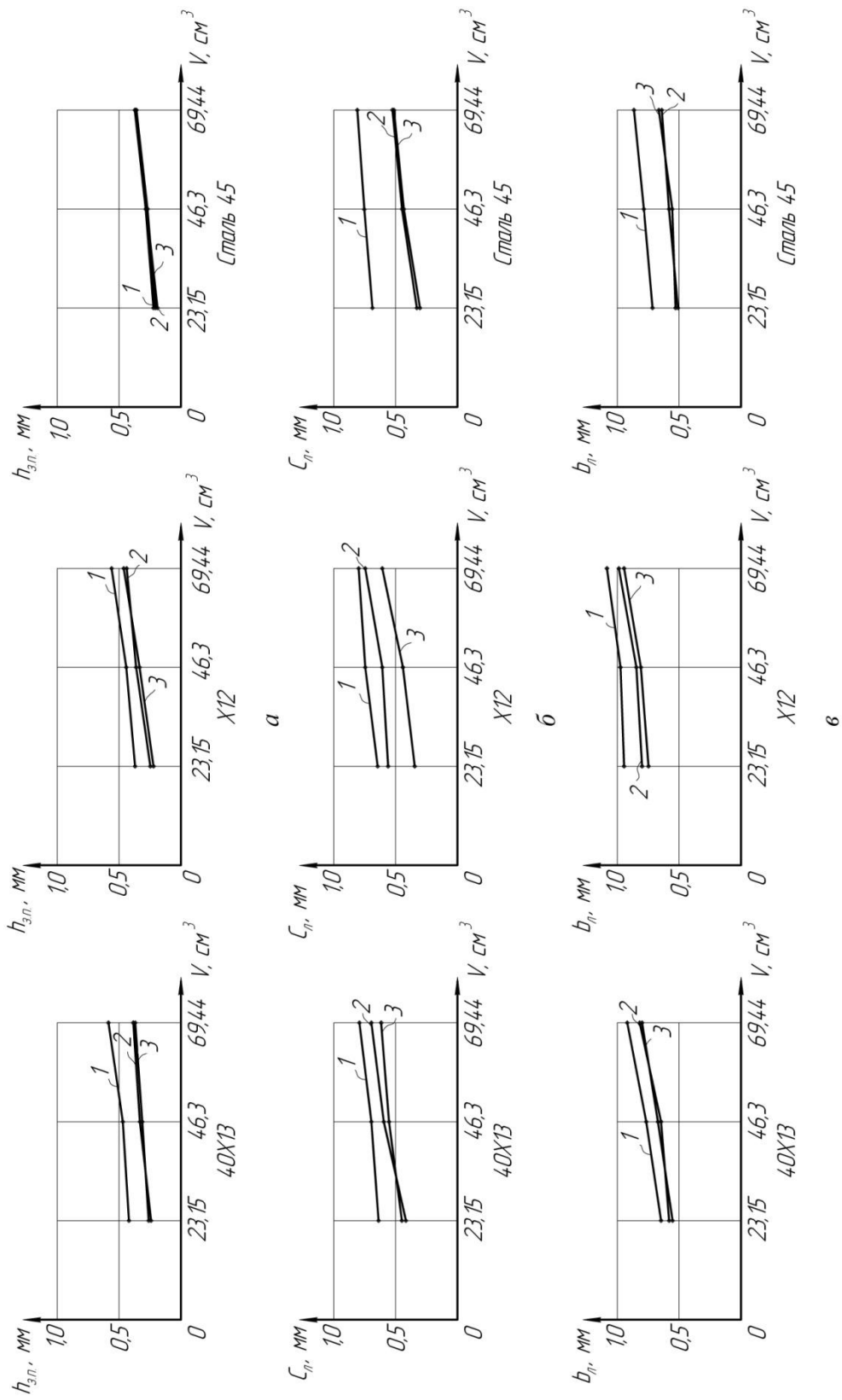


Рисунок 4.3.3 – Зависимость износа твердосплавных пластин из материала Т5К10 при торцовом фрезеровании сталей 40X13, X12 и 45: а – износ на задней поверхности; б – длина лунки износа на передней поверхности; в – ширина лунки износа на передней поверхности; 1 – траектория зигзаг;

2 – радиусная траектория; 3 – эллиптическая траектория

Основные выводы и результаты работы:

1. В работе изложен комплекс научно обоснованных технических и технологических решений, направленных на создание нового способа торцового фрезерования, обеспечивающего кратное снижение негативного влияния разгрузочного удара на износ режущего инструмента и увеличение производительности обработки.

2. Разработана динамическая модель процесса резания в зоне выхода зуба из зоны обработки, устанавливающая взаимосвязь между уменьшением объёма пластически деформируемого материала, снижением длины условной плоскости сдвига, угла её наклона и монотонным увеличением напряжения текучести в 1,5-2 раза и снижением силы резания до нуля.

3. Установлены новые теоретические закономерности между положениями угла наклона условной плоскости сдвига, температурой резания и коэффициентом усадки стружки, заключающиеся в уменьшении температуры резания до 10-15% и увеличении коэффициента усадки стружки в 1,6 – 1,7 раза при снижении угла наклона плоскости сдвига до 40 – 50%.

4. Проведены комплексные металлографические исследования, позволяющие оценить микротвёрдость на прирезцовой поверхности стружки, угол наклона текстуры стружки, размеры зёрен перлита. Установлено, что снижение угла наклона условной плоскости сдвига на 40-50%, приводит к увеличению микротвёрдости до 2-х раз и накопленной деформации обрабатываемого материала на 7 – 15% в зоне выхода по сравнению с зоной установившегося резания.

5. Разработан новый способ торцового фрезерования, обеспечивающий повышение эффективности обработки за счёт минимизации толщины срезаемого слоя путём движения инструмента по эллиптической траектории при врезании фрезы в заготовку и обводе её углов. На разработанный способ фрезерования получен патент на изобретение.

6. Проведенные сравнительные исследования износа режущих зубьев фрезы при торцовом фрезеровании с различными траекториями врезания инструмента, позволили установить снижение износа инструмента при обработке по эллиптической траектории с отношением малого диаметра к большому $d/D = 0.5$ при скоростях резания $V_{рез} 150$ м/мин, подаче на зуб $S_z = 0,1$ мм, глубине резания $t = 0,5$ мм при обработке сталей 45, X12, 40X13 до 2-х раз, а также увеличение производительности за счёт уменьшения протяжённости эллиптической траектории по сравнению с радиусной траекторией до 25% при равной величине износа.

7. Способ торцового фрезерования с криволинейным врезанием апробирован и внедрён на предприятии «Липецкптицесервис» (г. Липецк) при обработке пуансонов и матриц, годовой экономический эффект составил более 370000 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Амбросимов, С.К. Исследование динамики процесса резания при выходе зуба из зоны обработки при фрезеровании [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. - №1. – С. 29 – 34.

2. Амбросимов, С.К. Исследование динамических характеристик процесса резания при выходе зуба из зоны обработки [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. - №1. – С. 66 – 72.

3. Амбросимов, С.К. Напряжённое состояние режущего клина при выходе его из зоны обработки [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. - №2. – С. 66 – 72.

4. Амбросимов, С.К. Теоретические и экспериментальные исследования напряжения текучести при выходе режущего клина из зоны обработки [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. - №4. – С. 66 – 69.

5. Большаков, А.Н. Краевой эффект, возникающий при выходе зуба из зоны обработки [Текст] / А.Н. Большаков // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2013. - №10. – С. 41 – 45.

6. Взаимосвязь между изменением условий прерывистого резания, структурой и микротвёрдостью срезаемых слоёв [Текст] / А.Н. Волкова, Е.Л. Торопцева, С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. - №3. – С. 61 – 65.

7. Исследование параметров срезаемого слоя при винтовом фрезеровании со спиралевидной траекторией [Текст] / С.К. Амбросимов, О.Ю. Вепренцев, М.А. Косенков, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. - №6. - 3 – С. 3 – 11.

Статьи, свидетельства, материалы конференций:

8. Пат. 2498882 РФ, МПК В23С 3/00. Способ фрезерования выпуклых фасонных поверхностей с криволинейными участками профилей / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков. №2012122904; заявл. 04.05.2012; опубл. 20.11.2013.

9. Амбросимов, С.К. Динамические изменения, происходящие в процессе резания при разгрузочном ударе [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Инновации в машиностроении: Сборник трудов 2-ой Международной научно-практической конференции. – Кемерово: КузГТУ. - 2011. - С. 21 – 28.

10. Амбросимов, С.К. Определение напряжения текучести при прерывистом свободном ортогональном резании [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы модернизации современного машиностроения и металлургии: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвящённой 50-летию кафедры технологии машиностроения ЛГТУ – Липецк: Издательство ЛГТУ, 2012. - С. 3 – 7.

11. Амбросимов, С.К. Снижение негативного влияния разгрузочного удара на стойкость торцевой фрезы изменением кинематики процесса фрезерования [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Научно-технические технологии в машиностроении и авиадвигателестроении: 4-ая международная научно-техническая конференция, посвящённая 75-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Безъязычного Вячеслава Феокистовича – Рыбинск: РГАТУ, 2012.

12. Амбросимов С.К. Исследование процесса резания металлографическими методами [Текст] / С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков // Общество, наука и инновации: Сборник статей международной научно-практической конференции. 29-30 ноября 2013г Ч.2. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – С. 16 – 20.

Объём 1,0 усл. п. л. Формат 60x84 1/16

Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

302030, г. Орёл, ул. Московская, 65