

На правах рукописи

Моховиков Алексей Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ  
ОТРЕЗНЫХ И КАНАВОЧНЫХ РЕЗЦОВ ЗА СЧЕТ  
РАВНОПРОЧНОЙ ФОРМЫ ЛЕЗВИЯ**

Специальность 05.03.01 - Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2004

Работа выполнена в Юргинском технологическом институте  
(филиале) Томского политехнического университета

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор Петрушин С. И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Коротков А. Н.

кандидат технических наук,  
доцент Брюхов В. В.

Ведущая организация: Институт физики прочности  
и материаловедения  
СО РАН, г. Томск

Защита состоится « 8 » декабря 2004 г. в 15 часов на заседании  
диссертационного Совета Д 212.269.01 при Томском  
политехническом университете по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина,  
30

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической  
библиотеке Томского политехнического университета по адресу: г.  
Томск, ул. Белинского, 53-а

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,



Т. Г. Костюченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Отрезка является распространенной операцией как в заготовительном производстве, так и в технологических процессах изготовления деталей машин. Отрезные инструменты работают в особо тяжелых условиях, которые объясняются: во-первых, недостаточной жесткостью режущей части инструмента; во-вторых, переменным значением скорости резания, вызывающим колебание температуры резания, приводящее к тепловому напряжению твердого сплава и повышению интенсивности его хрупкого разрушения; в-третьих, трением между стенками прорезаемой канавки и стружкой, затрудняющим ее удаление из зоны резания; в-четвертых, стружкообразованием, происходящим в стесненных условиях. Характерными представителями данных инструментов являются отрезные и канавочные резцы.

Статистика машиностроительных заводов показывает, что операции отрезки и прорезки, выполняемые на токарных станках, характеризуются большими издержками обрабатываемого материала и режущего инструмента, соответственно приводящими к увеличению себестоимости производимой продукции. При этом расход отрезных и канавочных резцов превышает расход проходных и расточных резцов более чем на 50%. Причинами этого являются недостаточная прочность и жесткость режущей части отрезных и канавочных резцов. Поэтому повышение прочности режущей части отрезных и канавочных резцов является актуальной задачей.

В настоящее время существует ряд путей решения этой проблемы, одним из которых является оптимизация геометрических параметров режущей части инструмента.

**Цель диссертационной работы** повышение работоспособности отрезных и канавочных резцов путем оптимизации формы их передней поверхности по критерию равнопрочности лезвия.

**Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов.** Теоретические исследования проводились на основе векторного исчисления, численных методов, статистических расчетов, программирования и компьютерного моделирования с использованием современных средств вычислительной техники. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных условиях по схеме однофакторного эксперимента и включали в себя изучение изменения силы резания, полной длины контакта, коэффициента усадки стружки при прорезке и отрезке, а также стойкостные и статические прочностные исследования. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается экспериментальными данными и производственными испытаниями.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Методика и результаты расчетов напряженно-деформированного

состояния режущей части отрезных и канавочных резцов.

2. Методика расчета профиля передней поверхности равнопрочного лезвия для отрезных и канавочных резцов.

3. Результаты аналитических исследований получаемых расчетных профилей передней поверхности равнопрочного лезвия.

4. Разработанная форма заточки отрезных и канавочных резцов.

5. Результаты сравнительного экспериментального исследования эксплуатационных свойств резцов с разработанной формой заточки и с плоской передней поверхностью.

#### **Научная новизна:**

1. На основе предложенной методики расчета хрупкой прочности оценены величина и характер распределения напряжений и определена наиболее опасная, с точки зрения прочности, область в режущей части отрезных и канавочных резцов.

2. Создана методика расчета профиля передней поверхности отрезных и канавочных резцов по критерию равнопрочности лезвия.

3. Выявлены закономерности изменения формы профилей передней поверхности равнопрочного лезвия от величины скорости резания, подачи и допускаемого напряжения, позволившие предложить новые формы заточки отрезных и канавочных резцов.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработана новая форма заточки режущей части отрезных и канавочных резцов с напайными режущими пластинами, обладающая повышенной прочностью и удовлетворительными режущими свойствами.

2. Спроектированы твердотельные компьютерные модели сменных режущих пластин для отрезных и канавочных резцов, имеющие лезвие с равнопрочной формой и предназначенные как для операций отрезки, прорезки, так и для контурного точения.

3. Выработаны рекомендации по применению функции поддержания постоянной скорости резания при обработке на станках с ЧПУ как способа снижения вероятности хрупкого разрушения режущей части отрезных и канавочных резцов.

**Реализация результатов работы.** Результаты работы внедрены на ООО «ПО Юргинский машиностроительный завод». На разработанную форму заточки отрезных и канавочных резцов получен патент на полезную модель.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на двух международных конференциях студентов, аспирантов, и молодых ученых «Современные техника и технологии» - г. Томск (2002, 2004 гг.); на международной научной конференции «Современные проблемы в машиностроении» - г. Томск (2002 г.); на пяти научных конференциях ЮТИ (филиала) ТПУ в г. Юрга (2000, 2001, 2002, 2003, 2004 гг.); на международной научно-практической конференции

«Современные технологические системы в машиностроении» - г. Барнаул; на межрегиональной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» - г. Бийск; на научных семинарах кафедр «Технология автоматизированного машиностроительного производства» ТПУ (2003, 2004 г.), «Станки и инструменты» ТюмГНГУ (2004 г.), «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ (2004 г.) и «Технология машиностроения» Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета.

**Публикации.** По содержанию работы и основным результатам исследований опубликовано 14 печатных работ.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 177 страницах и содержит 136 страниц машинописного текста, 73 рисунка, 7 таблиц и список литературы, состоящий из 123 источников.

## ***СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ***

**Во введении** изложена актуальность темы и представлена общая характеристика диссертации. Сформулированы цель, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе **приведен аналитический обзор конструкций отрезных и канавочных резцов отечественного и зарубежного производства, рекомендуемые геометрические параметры и материалы режущей части. В настоящее время наиболее прогрессивными являются отрезные и канавочные резцы со сменными режущими пластинами, изготавливаемые зарубежными производителями металлорежущего инструмента. В результате применения износостойких покрытий и специальной формы передней поверхности режущих пластин обеспечивается образование свободно выходящей из прорезаемого паза стружки и ее дробление, а также необходимая прочность и стойкость сменной режущей пластины. Это позволяет при отрезке больших диаметров заготовок уменьшить ширину реза и расход обрабатываемого материала.**

Рассмотрены закономерности износа и изменения силы резания при отрезке и прорезке. Изучением этих вопросов занимались Н. И. Резников, Г. Л. Хаев, С. С. Рудник, П. Т. Полешко, С. Н. Филоненко, Н. В. Азенко, А. Н. Коротич, В. Я. Любарский, Kurota Tokahara и другие отечественные и зарубежные исследователи. Опубликованные работы этих исследователей свидетельствуют о том, что износ отрезных и канавочных резцов происходит с

разной степенью интенсивности на четырех поверхностях: задней, передней и двум боковым вспомогательным задним поверхностям.

Опыт проведения отрезных работ и ранее выполненные исследования показывают, что с увеличением глубины прорезаемой канавки, сила резания возрастает по причине действия следующих факторов:

- изменения скорости резания;
- затрудненного процесса стружкообразования;
- силы трения, возникающей между стенками прорезаемой канавки и стружкой;
- сопротивления удалению стружки из прорезаемого паза.

Проведен анализ причин выхода из строя отрезных и канавочных резцов. В результате выявлено, что к потере их работоспособности приводят: хрупкое выкрошивание режущей кромки, происходящее вследствие неблагоприятных условий работы и недостаточной прочности; неправильная заточка и установка инструмента, приводящая к уводу и изгибу головки резца; изменение при отрезке кинематического заднего угла до нулевых значений, в результате чего увеличивается вероятность скола резца при приближении к оси вращения детали. Однако основной причиной является хрупкое выкрошивание и скол режущей части, поскольку более половины отрезных и канавочных резцов выходят из строя именно по этому критерию.

Вопросы исследования прочности и напряженно-деформированного состояния (НДС) режущих инструментов рассмотрены в работах Е. В. Артамонова, Б. В. Барбышева, А. И. Бетанели, И. А. Ефимовича, Т. Н. Лоладзе, В. А. Остафьева, С. И. Петрушина, М. Ф. Полетики, М. Х. Утешева, Г. Л. Хаета и др. Работы данных авторов показывают, что прочность и картина распределения напряжений в значительной степени зависит от формы режущей части. Одним из путей повышения прочности режущей части является оптимизация формы передней поверхности по критерию равнопрочности, предложенному руководителем работы.

Исходя из аналитического обзора литературы, были сформулированы следующие задачи работы:

- 1) разработать методику расчета прочности для оценки НДС и компьютерные программы ее реализации;
- 2) экспериментально получить исходные данные для определения НДС режущей части отрезных и канавочных резцов;
- 3) путем проведения необходимых расчетов определить величину и характер распределения напряжений, а также опасные, с точки зрения прочности, зоны в режущей части отрезных и канавочных резцов;
- 4) разработать методику расчета профиля передней поверхности равнопрочного лезвия для отрезных и канавочных резцов;

5) на основе полученных результатов разработать формы заточки для напайных отрезных и канавочных резцов и проекты сменных режущих пластин;

б) провести сравнительное экспериментальное исследование влияния равнопрочной формы лезвия на прочность и режущие свойства.

**Во второй главе** изложена предлагаемая методика для оценки НДС и прочности отрезных и канавочных резцов. За ее основу были приняты работы профессора А. И. Бетанели и профессора С. И. Петрушина.

Расчет напряжений проводится в соответствии с принципом Сен-Венана: в контактной зоне по распределенной силовой нагрузке (рис. 1,а); а за пределами контакта – по сосредоточенной силе (рис. 1,б).

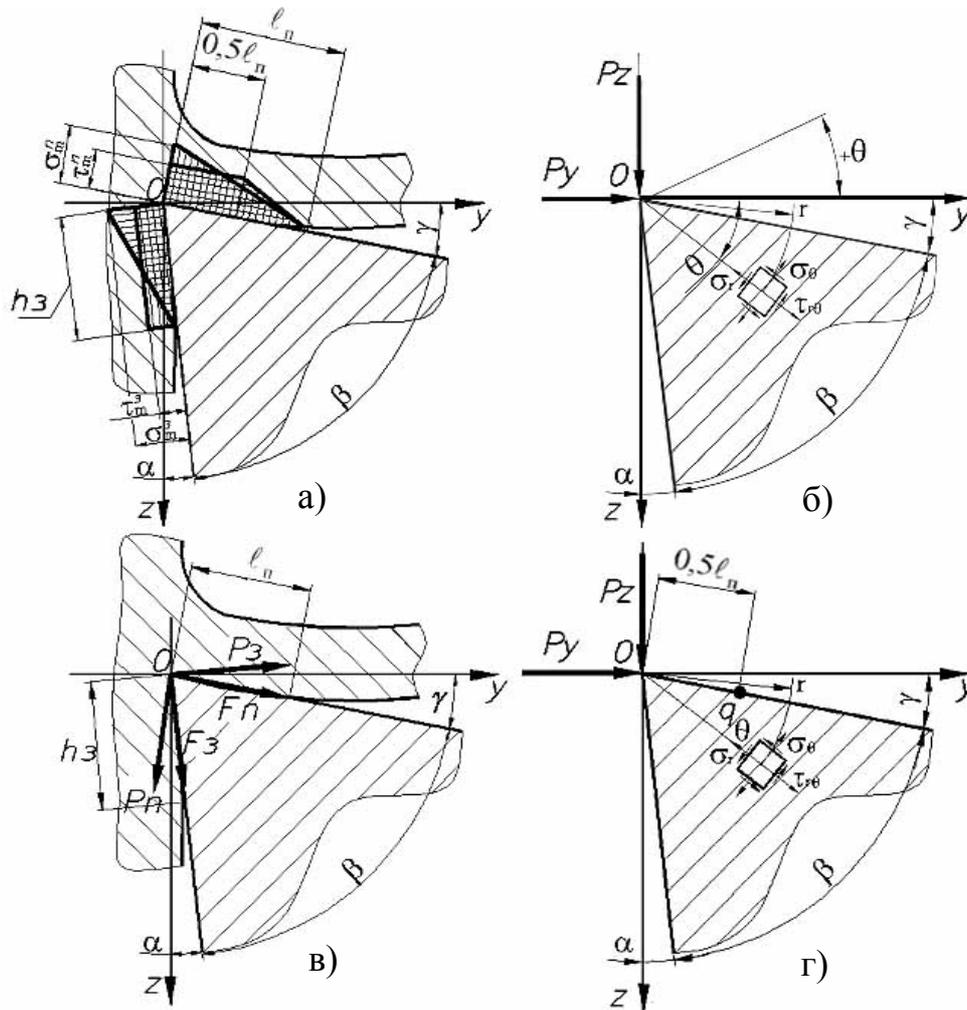


Рис. 1 Расчетные схемы нагружения режущей части: а) распределенной нагрузкой; б) сосредоточенной силой; в) физическими составляющими силы резания; г) сосредоточенной силой и точечным тепловым источником

Определение величины и характера распределения радиальных напряжений в режущем клине под действием сосредоточенной силы проводилось с помощью следующего выражения:

$$\sigma_r = 2 \cdot \frac{p_y \cdot [\cos \gamma \cdot \sin(\gamma + \Theta) - \sin \alpha \cdot \cos(\alpha - \Theta) + \beta \cdot \cos \Theta]}{r \cdot [(\sin^2 \alpha - \cos^2 \gamma) - \beta^2 + \dots]}$$

$$\frac{\dots}{\dots} \frac{p_z \cdot [\sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \Theta) - \cos \gamma \cdot \cos(\gamma + \Theta) - \beta \cdot \sin \Theta]}{+ (\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \sin \gamma \cdot \cos \gamma)^2} \quad (1)$$

где  $p_z, p_y$  - составляющие силы резания, отнесенные к единице ширины режущего лезвия.

Компоненты главных напряжений в полярной системе координат определялись по уравнениям, предложенным А. И. Бетанели:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 2 \cdot b_0 + 2 \cdot d_0 \cdot \Theta - 2 \cdot a_2 \cdot \cos 2\Theta - 2 \cdot c_2 \cdot \sin 2\Theta + \\ &+ r(2 \cdot b_1 \cdot \cos \Theta + 2 \cdot d_1 \cdot \sin \Theta - 6 \cdot a_3 \cdot \cos 3\Theta - 6 \cdot c_3 \cdot \sin 3\Theta); \\ \sigma_\Theta &= 2 \cdot b_0 + 2 \cdot d_0 \cdot \Theta + 2 \cdot a_2 \cdot \cos 2\Theta + 2 \cdot c_2 \cdot \sin 2\Theta + \\ &+ 6 \cdot r(b_1 \cdot \cos \Theta + d_1 \cdot \sin \Theta + a_3 \cdot \cos 3\Theta + c_3 \cdot \sin 3\Theta); \\ \tau_{r\Theta} &= -d_0 + 2 \cdot a_2 \cdot \sin 2\Theta - 2 \cdot c_2 \cdot \cos 2\Theta + \\ &+ r(2 \cdot b_1 \cdot \sin \Theta - 2 \cdot d_1 \cdot \cos \Theta + 6 \cdot a_3 \cdot \sin 3\Theta - 6 \cdot c_3 \cdot \cos 3\Theta), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $b_0, d_0, a_2, c_2, b_1, d_1, a_3, c_3$  - коэффициенты.

В качестве теории предельного состояния принималось условие Мора для расчетов хрупкой прочности, выражаемое формулой:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_{\text{сж}}} \cdot \sigma_2, \quad (3)$$

где  $\sigma_p$  - предел прочности инструментального материала на растяжение;

$\sigma_{\text{сж}}$  - предел прочности инструментального материала на сжатие.

Главные напряжения за пределами контактной области определялись следующим образом: если  $\sigma_r > 0$ , то  $\sigma_1 = \sigma_r$ ,  $\sigma_2 = 0$ , а если  $\sigma_r < 0$ , то  $\sigma_1 = 0$ ,  $\sigma_2 = -\sigma_r$ .

Проанализировав работы М. Ф. Полетики, М. Х. Утешева, В. Н. Козлова, В. А. Красильникова, и др., для определения коэффициентов в уравнениях (2) были приняты следующие законы распределения контактных нагрузок на передней и задней поверхностях режущей части (рис.1, а):

$$\sigma^n = \sigma_m^n \cdot (1 - y / \ell_{\text{п}}) \quad \text{- треугольника;} \quad (4)$$

$$\sigma^z = \sigma_m^z \cdot (1 - z / h_3) \quad \text{- треугольника;} \quad (5)$$

$$\tau^z = \tau_m^z \quad \text{- постоянной по всей длине контакта (износа) задней поверхности;} \quad (6)$$

$$\tau^n = \tau_m^n \quad \text{- постоянной на участке пластического контакта, принятого равным половине длины контакта;} \quad (7)$$

$$\tau_{\Pi}^{\Pi} = 2 \cdot \tau_{m}^{\Pi} \cdot (1 - y / \ell_{\Pi}) - \text{треугольника на упругом участке длины контакта.} \quad (8)$$

В выражениях (4 - 8)  $\sigma_m^{\Pi}$ ,  $\sigma_m^3$  - максимальная величина нормальных контактных нагрузок соответственно на передней и задней поверхностях;

$\tau_m^{\Pi}$ ,  $\tau_m^3$  - максимальная величина касательных контактных нагрузок соответственно на передней и задней поверхностях;

$h_3$  - величина контакта (износа) по задней поверхности;

$\ell_{\Pi}$  - полная длина контакта.

Максимальные контактные нагрузки рассчитывались, исходя из физических составляющих силы резания (рис. 1,в) и принятых законов распределения. Физические составляющие силы резания по задней поверхности определялись методом экстраполяции экспериментальных силовых зависимостей на нулевую толщину среза при постоянной усадке стружки.

Задав начальные и граничные условия для выражений (2), получили три системы уравнений с четырьмя неизвестными, в результате решения которых с помощью персонального компьютера были определены символьные решения неизвестных коэффициентов, приведенные в приложении к диссертации.

Известно, что одновременно с силовыми нагрузками на инструмент действуют значительные тепловые потоки, вызванные интенсивным тепловыделением в зоне стружкообразования и зонах трения на контактных площадках, которые могут привести к увеличению или уменьшению напряжений, возникающих от воздействия силы резания. Определение величины и характера распределения термоупругих напряжений проводилось с помощью следующего выражения, позволяющего оценить напряжения в режущем клине, нагруженном силой резания и точечным непрерывным тепловым источником, расположенным на передней поверхности в середине контактной зоны в условиях установившегося теплообмена (рис. 1,г):

$$\sigma_r = \frac{2 \cdot E}{r} \cdot \left( \frac{(\alpha_T \cdot I_2 + p_z / E) \cdot [\sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \Theta) - \dots]}{(\sin^2 \alpha - \cos^2 \gamma)^2 - \dots} - \frac{-\cos \gamma \cdot \cos(\gamma + \Theta) - \beta \cdot \sin \Theta - (\alpha_T \cdot I_1 - p_y / E) \cdot \dots}{-\beta^2 + \dots} \right. \\ \left. \dots \frac{[\cos \gamma \cdot \sin(\gamma + \Theta) - \sin \alpha \cdot \cos(\alpha - \Theta) + \beta \cdot \cos \Theta] - \alpha_T \cdot T}{+ (\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \sin \gamma \cdot \cos \gamma)^2} \right), \quad (9)$$

где  $r$ ,  $\Theta$  - полярные координаты;

$\alpha_T$  - коэффициент линейного термического напряжения;

$E$  - модуль упругости материала режущей части;

$T$  – текущая температура.

В выражении (9):

$$T = q / \pi \cdot \lambda \cdot \sqrt{\ell_{\Pi}^2 / 2 + r^2 - \ell_{\Pi} \cdot r}; \quad (10)$$

$$I_1 = \frac{q}{\pi \cdot \lambda} \cdot \left[ \frac{\cos \alpha + \frac{2}{3 \cdot \ell_{\Pi} \cdot r}}{\sqrt{\frac{\ell_{\Pi}^2}{4} + r^2 - \ell_{\Pi} \cdot r \cdot \sin \alpha}} - \frac{2}{3 \cdot \ell_{\Pi} \cdot r \cdot \left( \frac{\ell_{\Pi}}{2} - r \right)} \right]; \quad (11)$$

$$I_2 = \frac{q}{\pi \cdot \lambda \cdot r \cdot \ell_{\Pi}} \cdot \left( \frac{\ell_{\Pi}}{2} - r - \sqrt{\frac{\ell_{\Pi}^2}{4} + r^2 - \ell_{\Pi} \cdot r \cdot \sin \alpha} \right), \quad (12)$$

где  $q$  – интенсивность теплового источника;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности.

Интенсивность теплового потока  $q$  определялась с помощью методики профессора Резникова А.Н. по исходным экспериментальным данным.

На основе изложенной методики разработаны компьютерные программы расчета и построения изолиний напряжений в режущем клине.

**В третьей главе** изложена методика экспериментальных исследований, которые включали: измерения технологических составляющих силы резания, полной длины контакта, усадки стружки, стойкостные эксперименты и статические прочностные испытания. Также приведено описание применявшихся экспериментальных установок.

В качестве обрабатываемого материала использовались заготовки из стали 45. Эксперименты проводились токарными отрезными резцами с напайными режущими пластинами из твердого сплава Т5К10. При проведении сравнительных прочностных экспериментов в качестве образцов применялись твердосплавные режущие пластины (Т5К10) для напайных отрезных резцов, которые имели базовую и предлагаемую формы заточки.

**В четвертой главе** приведены полученные экспериментальные данные и результаты расчета НДС режущей части отрезных и канавочных резцов.

Измерение технологических составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$  показало, что их значения зависят от глубины канавки (рис. 2), скорости резания (рис. 3) и подачи (рис. 4). Установлено, что в большей степени на силу резания оказывает влияние подача, а скорость резания влияет менее значительно.

Обработка экспериментальных данных позволила получить следующие эмпирические зависимости технологических составляющих силы резания от скорости резания и подачи при отрезке и прорезке (при  $h=20$ мм):

$$P_z = 13,947 \cdot V^{-0,10} \cdot S^{0,80}, \text{ кН}; \quad (13)$$

$$P_y = 3,185 \cdot V^{-0,13} \cdot S^{0,48}, \text{ кН} \quad (14)$$

Средняя погрешность полученных по формуле расчетных данных по

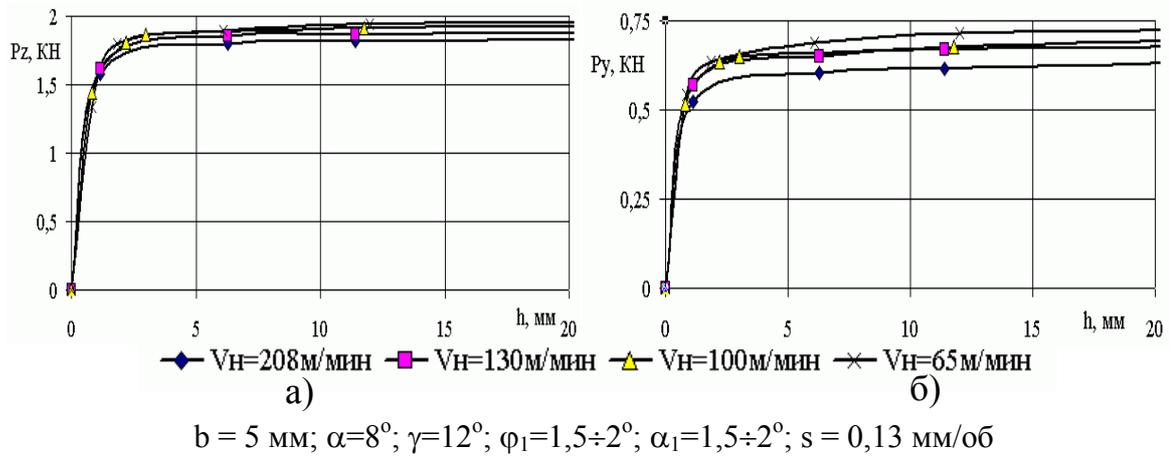


Рис. 2 Зависимость составляющих силы резания от глубины канавки:  
а) касательной; б) радиальной

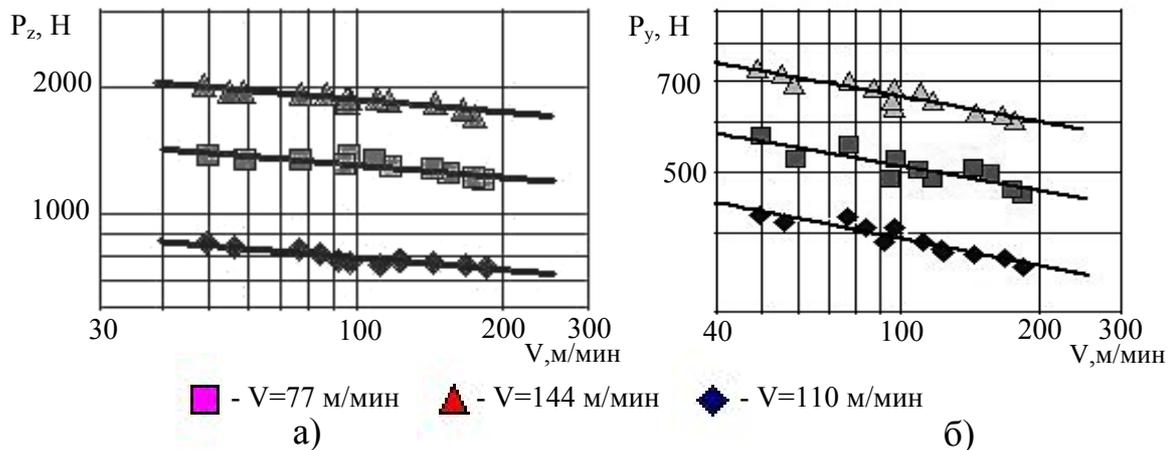


Рис. 3 Зависимость составляющих силы резания от скорости резания в двойных логарифмических координатах ( $h=20\text{ мм}$ ):  
а) касательной; б) радиальной

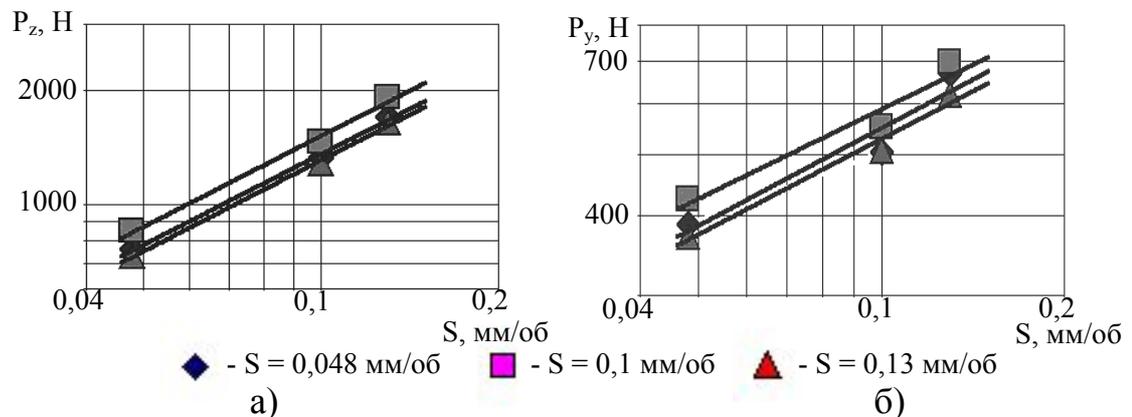


Рис. 4 Зависимость составляющих силы резания от подачи в двойных логарифмических координатах ( $h=20\text{ мм}$ ):  
а) касательной; б) радиальной

отношению к экспериментальным составила не более 4 %.

В работе также представлены результаты измерения полной длины контакта по передней поверхности отрезного резца и коэффициента усадки стружки.

Построение картин изолиний проводилось с помощью разработанных компьютерных программ. Исходными данными для расчетов являлись экспериментальные значения силы резания, полной длины контакта, усадки стружки, геометрические параметры инструмента, физико-механические и теплофизические свойства материала режущей части и обрабатываемой заготовки.

Полученные картины изолиний напряжений в режущей части отрезных и канавочных резцов (рис. 5) показывают, что наиболее опасной, с точки зрения прочности, является часть передней поверхности и прилегающая к ней область внутри режущего клина, расположенная непосредственно у границы контакта стружки с передней поверхностью. С их помощью также установлено, что в процессе отрезки и точения канавок в режущей части инструмента, по мере углубления в прорезаемую канавку, происходит увеличение значений и изменение характера распределения напряжений, в результате чего повышается вероятность хрупкого разрушения твердосплавной режущей пластины.

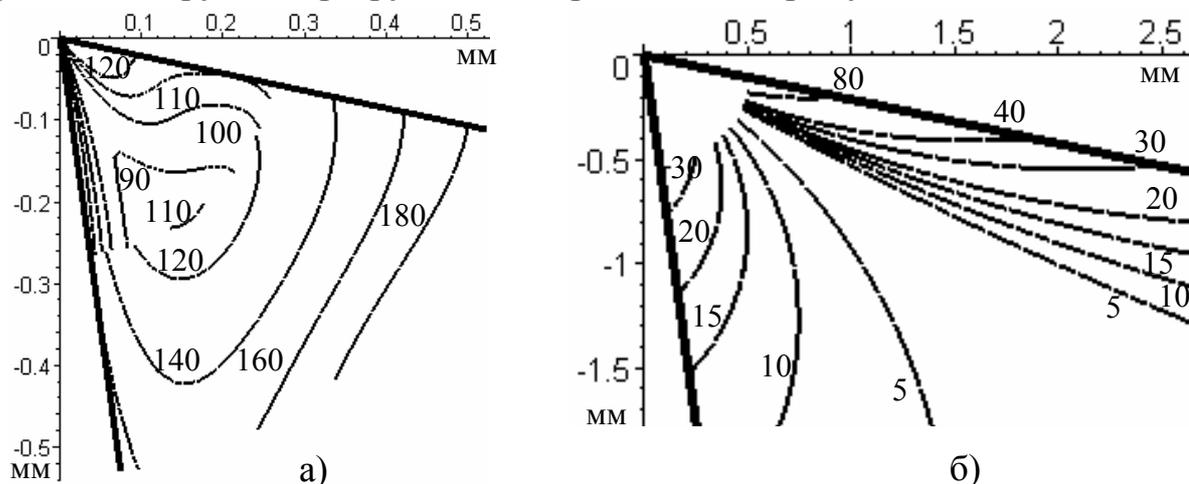


Рис. 5 Картины изолиний эквивалентных напряжений, МПа:

а) в контактной зоне;

б) за пределами контактной зоны

( $b=5\text{мм}$ ,  $\alpha=8^\circ$ ,  $\gamma=12^\circ$ ,  $V=105\text{ м/мин}$ ,  $S=0,13\text{ мм/об}$ ,  $P_z = 1712\text{Н}$ ,  $P_y = 653\text{Н}$ ,

$\sigma_m^n=1277\text{МПа}$ ,  $\sigma_m^3=184,6\text{МПа}$ ,  $\tau_m^n=255,5\text{МПа}$ ,  $\tau_m^3=158,3\text{МПа}$ )

Анализ картин изолиний термоупругих напряжений (рис. 6, а) показал, что нагрев режущей части существенно изменяет характер ее напряженного состояния. Данное изменение выражено в значительном уменьшении области растягивающих напряжений, величина которых ниже, чем на картинах изолиний, полученных при одном силовом нагружении режущего клина (рис. 6, б). С точки зрения прочности твердосплавного режущего инструмента, увеличение зоны сжимающих напряжений является благоприятным моментом. Это связано с тем, что любой твердый сплав имеет намного большие значения

предела прочности на сжатие, чем на растяжение.

Полученные результаты подтверждают вывод, сделанный профессором Петрушиным С.И., о положительном влиянии нагрева режущей части, возникающего в процессе резания, на ее прочность.

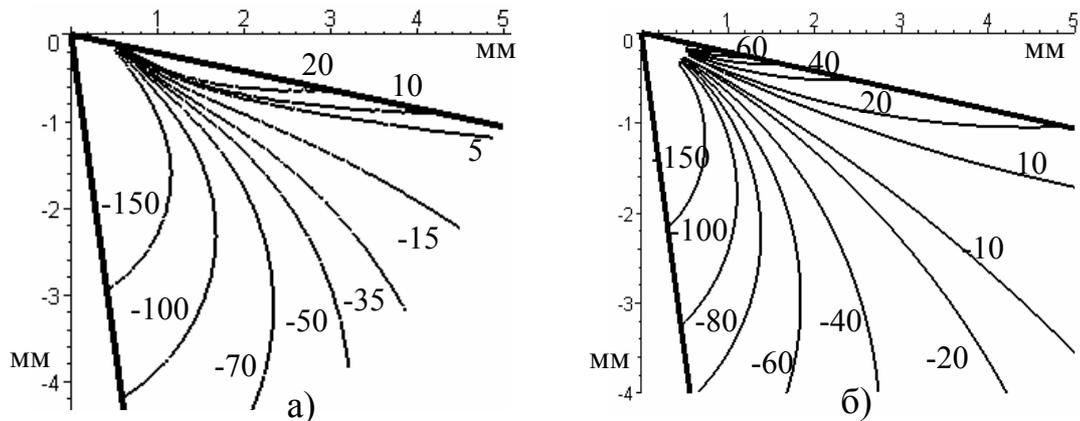


Рис. 6 Картина изолиний напряжений за пределами контактной зоны, МПа ( $b=5\text{мм}$ ,  $\alpha=8^\circ$ ,  $\gamma=12^\circ$ ,  $V=105\text{ м/мин}$ ,  $S=0,13\text{ мм/об}$ ,  $P_z=1712\text{Н}$ ,  $P_y=653\text{Н}$ ):  
а) термоупругих напряжений; б) радиальных напряжений

**В пятой главе** изложена методика оптимизации геометрических параметров отрезных и канавочных резцов по критерию равнопрочности, который может быть сформулирован следующим образом: прочность режущего клина будет максимальной для заданных условий обработки, если в любой точке передней поверхности присутствуют одинаковые напряжения, лежащие в интервале между значениями пределов прочности инструментального материала на сжатие и на растяжение. С учетом этого критерия выражение (1) примет следующий вид:

$$r = 2 \frac{p_y [\beta \cos \gamma_T - \sin \alpha \cos(\alpha + \gamma_T)] + p_z [\sin \alpha \sin(\alpha + \gamma_T) - \cos \gamma_T + \beta \sin \gamma_T]}{\sigma [(\sin^2 \alpha - \cos^2 \gamma_T)^2 - \beta^2 + (\sin \alpha \cos \alpha - \sin \gamma_T \cos \gamma_T)^2]}, \quad (15)$$

где  $\gamma_T$  – текущий передний угол;

$\sigma$  - допускаемое напряжение на передней поверхности.

По предложенной методике разработана компьютерная программа для решения численным способом вытекающего из выражения (15) дифференциального уравнения, с помощью которой рассчитаны и построены профили передней поверхности равнопрочного лезвия, предназначенные для конкретных условий отрезки и прорезки (рис. 7). Расчеты проводились по полученным экспериментальным значениям составляющих силы резания. Величина заданных напряжений на передней поверхности  $\sigma$  принималась равной 100, 50, -50, -100 МПа.

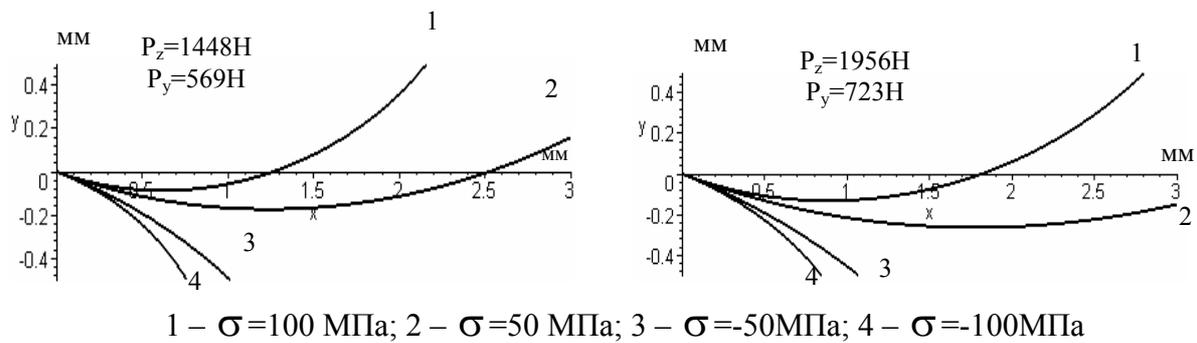


Рис. 7 Расчетные профили равнопрочной передней поверхности

Анализ влияния значений скорости резания, подачи и допускаемого напряжения на передней поверхности на вид получаемых расчетных профилей передней поверхности равнопрочного лезвия позволил выявить закономерности изменения их формы. Используя результаты этого аналитического исследования, были получены усредненные профили для более обобщенных условий обработки.

На основе расчетных усредненных профилей передней поверхности равнопрочного лезвия разработаны новая форма заточки (рис. 8) для отрезных и канавочных резцов с напайными режущими пластинами (патент РФ №37956), твердотельные компьютерные модели сменных режущих пластин, предназначенные для отрезки, прорезки и контурного точения, а также конструкция отрезного резца со сменными режущими пластинами (свидетельство №33528).

**В шестой** главе приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований эксплуатационных свойств отрезных резцов с разработанной формой заточки и с плоской передней поверхностью, а также экспериментального изучения влияния функции поддержания постоянной скорости резания на износ и основное технологическое время при отрезке, прорезке и торцевом точении, выполняемых на станках с ЧПУ.

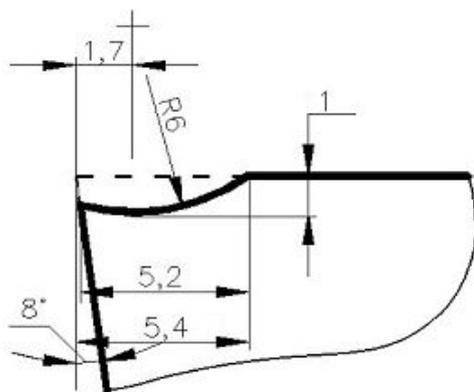


Рис. 8 Разработанная форма заточки режущей части отрезных и канавочных резцов

Сравнение разрушающего усилия режущих пластин с плоской передней поверхностью ( $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 12^\circ$ ) и с разработанной формой заточки проводилось при моделировании нагружения. Использовалась схема нагружения с воздействием пуансона непосредственно на вершину образца. Нагружение образцов осуществлялось по направлению равнодействующей силы резания, которое было определено исходя из экспериментальных значений  $P_z$ ,  $P_y$ , полученных в ходе динамометрических экспериментов. Полученные



Рис. 9 Гистограмма усилий разрушения образцов

результаты измерений и их дальнейшая статистическая обработка показали, что среднее значение разрушающего усилия для образцов с разработанной формой заточки на 14% выше, чем для образцов с плоской передней поверхностью (рис. 9).

Стойкостные испытания резцов с плоской передней поверхностью ( $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 12^\circ$ ,  $\phi_1 = 1,5 \div 2^\circ$ ;  $\alpha_1 = 1,5 \div 2^\circ$ ) проводились при точении канавок в следующих технологических условиях: начальная скорость резания 275, 171, 158, 130 м/мин; подача 0,048, 0,1, 0,13 мм/об. Критерием затупления принимался износ по переходной задней поверхности равный 1мм.

Для подтверждения достоверности полученных в ходе стойкостных экспериментов данных было проведено их сравнение с данными, рассчитанными по различным нормативам режимов резания. В результате установлено, что экспериментальные данные в достаточной мере коррелируют со справочными данными нормативов режимов резания 1974 года.

Стойкостные исследования резцов с разработанной формой заточки проводились с начальной скоростью резания 171 м/мин. Диаметр заготовок

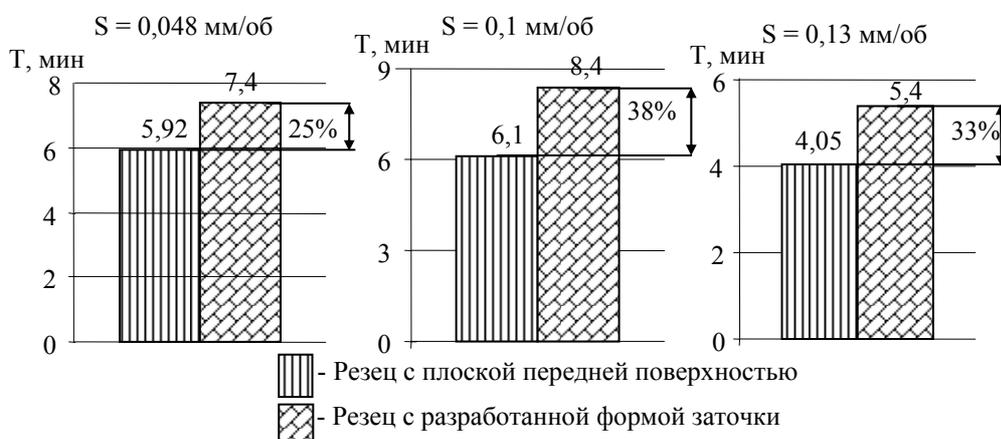


Рис. 10 Сравнение стойкости

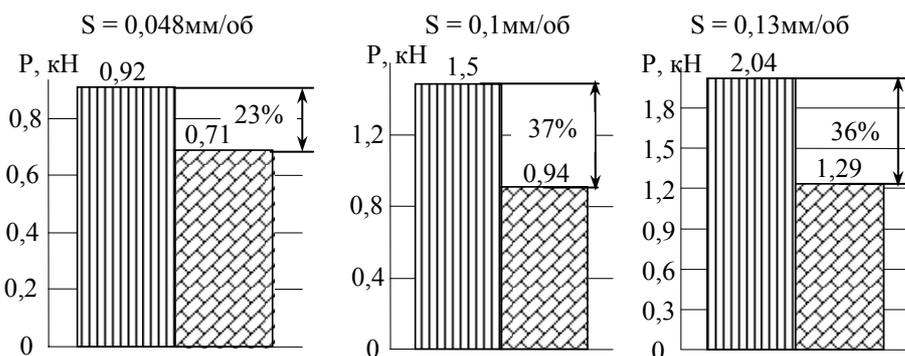


Рис. 11 Сравнение силы резания

строго соответствовал аналогичным экспериментам, проведенным резцами с плоской передней поверхностью.

Сравнение результатов стойкостных экспериментов (рис. 11)

позволило установить, что новая форма заточки отрезных и канавочных

резцов не оказывает влияния на характер износа и не приводит к снижению стойкости.

Динамометрические эксперименты, проведенные резцами с разработанной формой заточки показали, что во-первых, качественная картина зависимости составляющих силы резания от глубины канавки, скорости резания и подачи аналогична получаемой резцами с плоской передней поверхностью, во-вторых, новая форма заточки позволяет снизить величину силы резания в среднем на 30%. Значение силы резания определялось как геометрическая сумма ее технологических составляющих, замеренных при глубине канавки 20 мм и начальной скорости резания 100 м/мин.

Ранее было выявлено неблагоприятное воздействие переменной скорости резания на напряженное состояние в режущей части отрезных и канавочных резцов. Снижение вероятности хрупкого разрушения твердосплавных режущих пластин может быть достигнуто путем применения функции поддержания постоянной скорости резания при выполнении на станках с ЧПУ операций отрезки и прорезки. В результате чего влияние переменной скорости резания на увеличение значений напряжений и изменение характера их распределения при углублении резца в прорезаемую канавку будет практически исключено. Однако, при этом неясно, какое влияние окажет данная функциональная возможность станков с ЧПУ на стойкость инструмента и время обработки. Выполненное на токарном станке с ЧПУ мод. 16К20Ф3С32 дополнительное исследование показало, что применение функции поддержания постоянной скорости резания при отрезке и прорезке на станках с ЧПУ приводит к уменьшению времени обработки, то есть повышению производительности и одновременному некоторому снижению стойкости инструмента.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Недостаточная прочность режущей части является основной причиной выхода из строя отрезных и канавочных резцов.

2. Предложенная методика расчета хрупкой прочности позволила получить общую картину распределения напряжений в режущем клине отрезных и канавочных резцов, а также судить о его прочности.

3. В результате экспериментального исследования составляющих силы резания установлено, что на величину силы резания при отрезке и точении канавок в большей степени влияет величина подачи и в меньшей - скорости резания.

4. Полученные картины изолиний напряжений показали, что наиболее опасной, с точки зрения прочности, является часть передней поверхности и прилегающая к ней область внутри режущего клина, расположенная непосредственно у границы контакта со стружкой.

5. Оптимизация формы режущей части отрезных и канавочных резцов по

прочности проведена по следующему критерию оптимальности: прочность режущего клина будет максимальной для заданных условий обработки, если в любой точке передней поверхности присутствуют одинаковые радиальные напряжения, величина которых ниже предела прочности инструментального материала на растяжение.

6. В результате анализа расчетных профилей передней поверхности равнопрочного лезвия разработана новая форма заточки для отрезных и канавочных резцов с напайными режущими пластинами.

7. Сравнительные экспериментальные исследования эксплуатационных свойств резцов с разработанной формой заточки и с плоской передней поверхностью показали, что новая форма заточки режущей части отрезных и канавочных резцов имеет большую прочность, позволяет снизить величину силы резания, не снижая при этом стойкость инструмента.

8. Применение функции поддержания постоянной скорости резания как средства снижения вероятности хрупкого разрушения режущей части при отрезке, прорезке и торцевом точении на станках с ЧПУ приводит к увеличению производительности и некоторому снижению стойкости инструмента.

9. Основные результаты работы внедрены на ООО «ПО Юргинский машиностроительный завод». На разработанную форму заточки отрезных и канавочных резцов получен патент на полезную модель №37956.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Моховиков А. А. Измерение силы резания и шероховатости торцевой поверхности при прорезке канавок.// Технология металлов. - 2002. - № 12. - С. 24 - 26.

2. Моховиков А. А. Исследование износа и стойкости отрезных и канавочных инструментов // Труды XIII научно-практической конференции, посвященной 100-летию начала учебных занятий в ТПУ. Труды. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2000. – С. 75.

3. Моховиков А. А. Метод расчета хрупкой прочности отрезных и прорезных резцов // I Международная конференция «Современные проблемы в машиностроении» г. Томск, 24-28 сентября 2002 г. Сборник трудов. – Томск: STT, 2003 – С. 122-124.

4. Моховиков А. А. Определение критерия затупления отрезных и прорезных резцов // Труды XIV научно-практической конференции, посвященной 300-летию инженерного образования России. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2001. – С. 91.

5. Моховиков А.А. Расчет профиля передней поверхности с равным коэффициентом запаса прочности для отрезных и канавочных резцов// Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении. Труды Всероссийской научно-практической конференции - Филиал ТПУ, Юрга: Изд.

ТПУ, 2003. – С. 81.

6. Моховиков А. А. Расчет эквивалентных напряжений в режущей части отрезных и прорезных резцов // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 2-ой межрегиональной научно-практической конференции с международным участием. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд. Алт. гос. техн. ун-та, 2002 – С. 212 - 217.

7. Моховиков А. А. Экспериментальное определение силы резания при прорезке канавок // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Труды региональной научно – практической конференции. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2002. – С. 80 - 81.

8. Моховиков А. А. Экспериментальное определение шероховатости торцевой поверхности // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Труды региональной научно – практической конференции. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2002. – С. 79 - 80.

9. Моховиков А. А., Воробьев А. В. Сравнительный анализ режимов резания при отрезании и прорезании // Современные техника и технологии: Труды восьмой международной конференции студентов, аспирантов, и молодых ученых. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – Т.1 – С. 176.

10. Моховиков А. А., Ласуков А. А. Моделирование процессов прорезки и отрезки // XXII Российская школа по проблемам науки и технологий. Тезисы докладов. – Миасс: МНУЦ, 2002. – С. 73.

11. Свидетельство на полезную модель 33528 Россия. МКИ<sup>5</sup> U1 7 B23 B27/16. Резец / А. А. Моховиков – №2003101507/20; Заявл. 22.01.2003; Опубл. 27.10.2003, Бюл. №30.

12. Моховиков А. А. Оптимизация по прочности передней поверхности отрезных и канавочных резцов. // Современные технологические системы в машиностроении (СТСМ – 3). Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2003. – С. 104 – 105.

13. Моховиков А. А. Проектирование отрезных и канавочных резцов с равнопрочной формой лезвия. // X Юбилейная Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», посвященная 400-летию г. Томска, 29 марта - 2 апреля 2004 г. Труды. В 2-х т. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2004. – Т.1. – С. 139 – 140.

14. Патент на полезную модель 37956 РФ, МПК5 7 B23 B27/04. Резец / А. А. Моховиков, А. В. Валентов. – Заявка №2003130862; Заявл. 23.10.2003; Опубл. 20.05.2004, Бюл. №14.