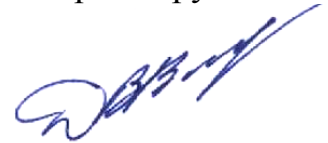


На правах рукописи



Васильев Дмитрий Вячеславович

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ МАКСИМАЛЬНОЙ
ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Тюмень – 2015

Работа выполнена на кафедре «Станки и инструменты» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» г. Тюмень

Научный руководитель

Артамонов Евгений Владимирович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мокрицкий Борис Яковлевич
доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник УНИД,
ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» профессор кафедры «Технология машиностроения»

Ласуков Александр Александрович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Юргинский технологический институт Томского политехнического университета», доцент кафедры «Технология машиностроения»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет»

Защита состоится « 29 » июня 2015г. в 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.298.06 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ауд. 201а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Южно-Уральского государственного университета.

Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат:
<http://susu.ac.ru/ru/dissertation/d-21229806/vasilev-dmitriy-vyacheslavovich>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



И.А. Щуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В современной промышленности многие детали машин таких промышленных отраслей как энергетика, авиация, космическая промышленность и др. определяющих уровень технического развития страны, не обходятся без применения жаропрочных материалов. (программа развития машиностроения)

В настоящее время наработан большой экспериментальный материал по определению режимов резания при обработке деталей из различных материалов, который положен в основу справочных данных.

Однако, по-прежнему, проблемой в современном машиностроении остается определение режимов максимальной обрабатываемости при обработке жаропрочных материалов при освоении производством новых изделий. Для определения режимов резания, которые обеспечивают условия максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов необходимы продолжительные дорогостоящие стойкостные лабораторные испытания, обусловленные большой трудоемкостью работы, приводящие к определённым финансовым затратам, а также к потере времени.

Поэтому решение задачи формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов путем управления температурой резания через изменение скорости резания, по виду и коэффициенту сплошности стружки, является актуальной.

Целью диссертационной работы является разработка метода формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов путем высокотемпературного охрупчивания при резании, обеспечивающих технически эффективные процессы обработки.

Задачи работы:

1. Провести анализ состояния вопроса по теме диссертации. Сформулировать цель, задачи исследования и научную гипотезу.
2. Разработать установку и подобрать приборы для экспериментальных исследований.
3. Исследовать взаимосвязь механических характеристик обрабатываемых материалов с температурой максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов, коэффициентом сплошности и видом стружки.

4. Исследовать напряжённо - деформированное состояние в стружке при резании металлов методом имитационного моделирования с применением метода конечных элементов (МКЭ).

5. Изучить процесс образования стружки через механику разрушения обрабатываемого материала.

6. Исследовать влияние температурно-скоростного фактора на коэффициент сплошности и вид стружки.

7. Разработать методику формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов путём высокотемпературного охрупчивания при резании.

Научная новизна

1. Предложена и доказана научная гипотеза о том, что температура максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов соответствует температуре высокотемпературного охрупчивания, при которой зависимости механических характеристик этих материалов, относительного сужения – ψ и относительного удлинения – δ от температуры, имеют минимальные значения.

2. Экспериментально установлена взаимосвязь коэффициента сплошности, вида стружки (сливная, суставчатая, элементная) и потребляемой мощности с температурно-скоростным фактором и механическими характеристиками (ψ , δ) обрабатываемого материала во всем температурном диапазоне резания металлов, позволяющая определять диапазон высокотемпературного охрупчивания металла.

3. Результаты имитационного моделирования процесса стружкообразования с применением МКЭ показали зоны с максимальными опасными напряжениями растяжения σ_1 , которые обуславливают возможные зоны разрушения в условиях высокотемпературного охрупчивания.

4. Экспериментально установлено, что с увеличением минимальных значений зависимости относительного сужения обрабатываемых материалов (ψ) от температуры, длина стружки растёт.

5. Для повышения точности определения коэффициента сплошности стружки k_s предложено новое определение и установлена зависимость: отно-

шение проекций в поперечном сечении стружки площади сплошного слоя к максимальной площади стружки.

6. Выявлена механика процесса образования стружки через разрушение обрабатываемого материала сдвигом, отрывом, сдвигом и отрывом, вид которого определяется напряжённо-деформированным состоянием и изменяющимися механическими свойствами (ψ , δ) обрабатываемого материала во всем температурно-скоростном диапазоне резания металлов и отражается изменением величины угла поверхности разрушения стружки от температуры в диапазоне от 45° до 90° .

Практическая значимость

1. Разработано устройство, с помощью которого определяют условия максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов по виду стружки, получен патент на полезную модель №142320, МПК G01K7/00 (2006.01).

2. Разработана методика формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов по зависимостям коэффициента сплошности и вида стружки от температуры и скорости во всём температурно-скоростном диапазоне резания металлов, в основу которой положен запатентованный способ на изобретение №2535839, МПК B23B1/00.

3. Разработаны руководящие технические материалы «Метод формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов путем высокотемпературного охрупчивания при резании» и переданы для испытания и внедрения на предприятия ОАО «Сибнефтепровод: Тюменский Ремонтно-Механический Завод», ОАО «Газтурбосервис», ЗАО «Томский завод электроприводов».

Разработки, полученные в результате исследования, применяются в процессе обучения студентов по специальностям и направлениям: «Технология машиностроения», «Металлообрабатывающие станки и комплексы», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Технологические машины и оборудование».

Методы исследования. Аналитические исследования взаимосвязи явлений при резании обрабатываемых металлов, их механических характеристик и видов стружки были проведены по данным научных школ резания металлов, как Российской Федерации, так и зарубежных. Экспериментальные исследования выполнялись автором в лабораторных и производственных условиях и включали в себя самостоятельное дробление стружки под воздействием разной температуры резания с применением разработанных установок.

Достоверность Научные гипотеза и положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретическими решениями, базирующимися на положениях механики и теплофизики процессов резания, механике деформируемого тела. При проведении экспериментальных исследований использованы аттестованные измерительные приборы. Достоверность и обоснованность результатов теоретических исследований подтверждена экспериментальными данными, а также данными производственных испытаний.

Апробация работы и публикации.

Основные результаты диссертационной работы докладывались автором на 2 международных конференциях. Результаты исследования опубликованы в 17 печатных работах, из них: 4 работы в изданиях, рекомендованных ВАК; 2 в Web of Science и Scopus; 3 патента РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст содержит 145 страниц машинописного текста, включает 70 рисунков, 21 таблица.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований и изложено краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе приведен литературный обзор экспериментальных и теоретических исследований по теме диссертации.

Вопросам исследования процессов образования стружки, влияния скорости резания и температуры на процесс деформации, силы и напряжения при резании, а также

оптимизацию режимов резания посвятили свои работы ученые: Безьязычный В.Ф., Бобров В.Ф., Васин С.А., Верещака А.С., Грановский Г.И., Грановский В.Г., Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Гузеев В.И., Гольдшмидт М.Г., Даниелян А.М., Драчев О.И., Зорев Н.Н., Клушин М. И., Кривоухов В.А., Куфарев Г.Л., Кушнер В.С., Лоладзе Т.Н., Макаров А.Д., Мокрицкий Б.Я., Нодельман М.О., Подураев В.Н., Полетика М. Ф., Петруха П.Г., Петрушин С.И., Промптов А.И., Резников Н.Н., Розенберг А. М., Розенберг Ю.А., Старков, В.К., Силин С.С., Талантов Н.В., Тахман С.И., Шаламов В. Г., Щепетильников Ю.В., а также научная школа Утешева М.Х.: Артамонов Е.В., Некрасов Ю.И., Барбышев Б.В., и другие.

Ученые Полетика М.Ф., Кривоухов В.А., Бобров В.Ф. установили зависимость вида стружки от температурно – скоростного фактора при обработке деталей из разных металлов: элементная, сливная, элементная.

На основании литературного обзора и информационного анализа патентов сформулированы цель и задачи исследования диссертационной работы.

Во второй главе изучено научное явление, высокотемпературное охрупчивание металлов. Построены зависимости механических характеристик обрабатываемых материалов (σ_B , δ , ψ) от температуры, приведены разработанные экспериментальные установки и устройства для исследования механики процесса резания металлов. Описаны результаты экспериментальных исследований.

Известно, что жаропрочные стали и сплавы при определённой температуре и скорости деформации склонны к высокотемпературной хрупкости.

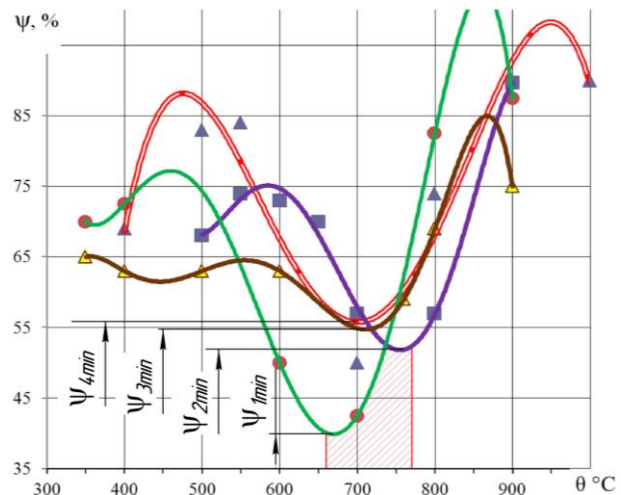


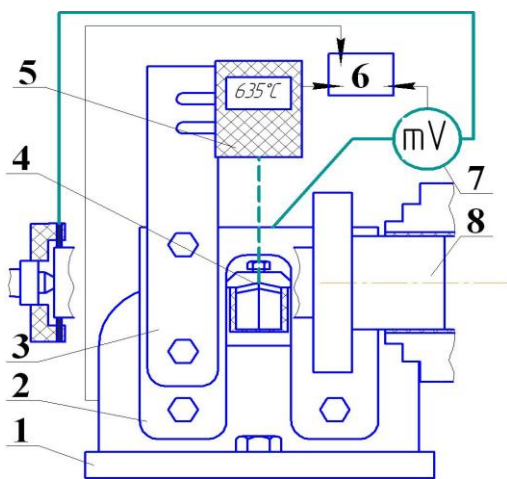
Рисунок 1 – Зависимости относительного сужения (ψ) от температуры сталей:

● - 40Х, ■ - 1Х18Н9Т, ▲ - 30ХГСА,
 ▲ - 10Х11Н23Т3МР

На рисунке 1 приведены зависимости относительного сужения (ψ) от температуры, построенные по справочнику, для экспериментальных материалов разных групп обрабатываемости: I–40X, 30XГСА, III–1X18H9T, IV–10X11H23T3MP.

Наличие минимальных значений коэффициента относительного сужения в определённом температурном диапазоне для каждого обрабатываемого материала подтверждает явление высокотемпературной хрупкости и обуславливает минимальную прочность материала.

На основании изложенного выше была сформулирована гипотеза о том, что температура максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов соответствует температуре высокотемпературного охрупчивания, при которой зависимости величин механических характеристик обрабатываемого материала (ψ , δ) от температуры имеют минимальные значения и могут проявляться в процессе



1–динамометр, 2 – площадка-основание,
3 – поворотная портала, 4 – резец ВК8,
 $\gamma=10^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $\varphi=45^\circ$, 5 – пирометр,
6 – видеокамера, 7 – милливольтметр, 8
– обрабатываемая деталь

Рисунок 2 – Устройство для измерения сил и температуры в процессе резания [Патент №142320, МПК G01K7/00]

резания следующими признаками:

1- минимальным значением составляющей силы резания P_z и потребляемой мощности при резании;

2- минимальным значением относительного поверхностного износа по задней поверхности режущего лезвия инструмента $h_{\text{ОПЗmin}}$, обуславливающим максимальную обрабатываемость материалов;

3- изменением вида стружки из сливной в элементную;

4 - уменьшением коэффициента сплошности стружки k_s до минимальных значений.

В процессе лабораторного эксперимента определялись усадка и вид стружки. С помощью специального запатентованного

устройства, показанного на рисунке 2, измерялись силы резания, средняя температу-

ра резания. Определение величины относительного поверхностного износа по задней поверхности режущих элементов и коэффициента сплошности стружки k_s производилось с помощью комплекса электронных оптических приборов: микроскопа МГ (х 3,7), окуляра электронного USB.

Режимы резания задавались так, чтобы охватить весь температурно-скоростной диапазон, начиная с минимальной температуры резания и заканчивая температурой потери формоустойчивости режущего клина инструмента из ВК8 при подаче $S=0,43$ мм/об и скоростях резания в диапазоне $V=12 \div 200$ м/мин.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием ПК и программ «Microsoft Excel», «КОМПАС – 3D», «ANSYS».

По результатам эксперимента при точении материала 10X11H23T3MP с постоянными режимами резания $S=0,43$ мм/об, $t=1,5$ мм, были построены зависимости относительного сужения обрабатываемого металла (ψ), относительного поверхностного износа по задней поверхности резца ($h_{опз}$), силы резания (P_z), коэффициента усадки стружки (ξ) от температуры резания (θ) с переменной скоростью резания резцами с СМП (ВК8), как показано на рисунке 3.

Анализ результатов исследования, представленный на рисунке 3, показал, что температурный диапазон, в котором величина относительного сужения металла ψ имеет минимальное значение, обеспечивает минимальное стабильное значение силы резания P_z (опр. по методике Силина С.С.) и коэффициента усадки струж-

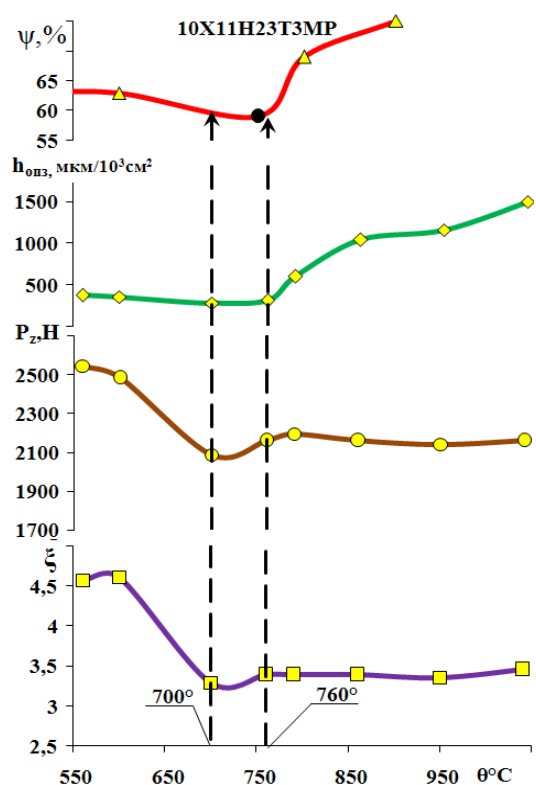


Рисунок 3 – Зависимости относительного сужения (ψ), относительного поверхностного износа по задней поверхности резца ($h_{опз}$), силы резания (P_z), коэффициента усадки стружки (ξ) от температуры резания (θ), (ВК8, $S=0,43$ мм/об, $t=1,5$ мм)

Рисунок 3 – Зависимости относительного сужения (ψ), относительного поверхностного износа по задней поверхности резца ($h_{опз}$), силы резания (P_z), коэффициента усадки стружки (ξ) от температуры резания (θ), (ВК8, $S=0,43$ мм/об, $t=1,5$ мм)

ки ξ , т.е. минимальную потребляемую мощность при резании и минимальное значение относительного поверхностного износа по задней поверхности режущего лезвия инструмента $h_{\text{ОПЗmin}}$ (опр. по методике Макарова А.Д.), обуславливающих максимальную обрабатываемость материала, соответственно максимальную работоспособность твердосплавного режущего инструмента. Таким образом, доказаны 1 и 2 признаки гипотезы.

В третьей главе приведены результаты имитационного моделирования процесса стружкообразования с применением метода конечных элементов (МКЭ), а также исследований механики процесса резания и образования стружки во всём температурном диапазоне резания металлов, как представлено на рисунке 4.

Предварительный анализ картин изолиний напряжений σ_1 , σ_3 , $\sigma_{\text{экв}}$ показал необходимость расчета напряженно – деформированного состояния (НДС) в продольном сечении стружки с применением МКЭ в программе «ANSYS» в трёх плоскостях:

А-Б – теоретическая плоскость сдвига;

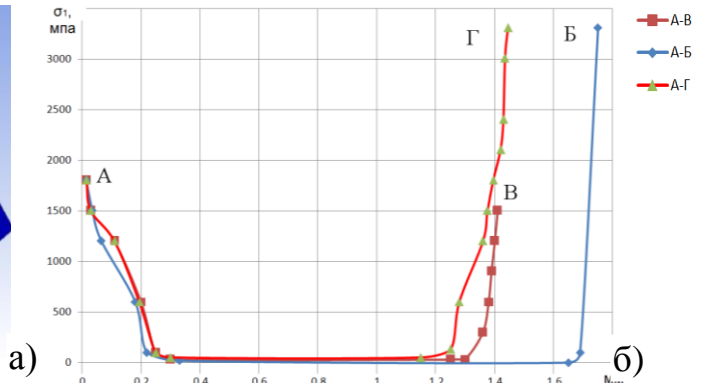
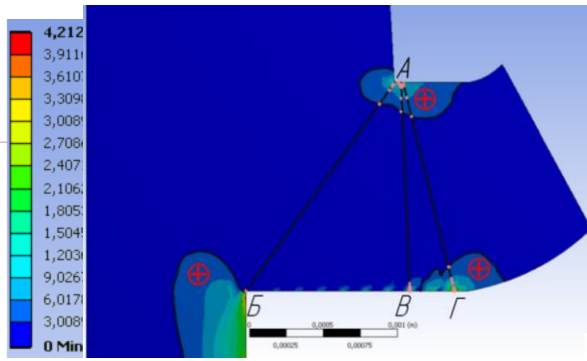
А-В – плоскость, перпендикулярная направлению схода стружки в зоне контакта с передней поверхностью инструмента;

А-Г – плоскость, проведённая через точку А (точка пересечения наружных поверхностей срезаемого слоя и стружки) в начале её образования и точку Г (точка отрыва стружки от передней поверхности).

Анализ НДС по плоскостям А-Б, А-В, А-Г показал: опасные напряжения растяжения σ_1 имеют большие положительные значения в точках А, Б, Г, а в остальных точках, в том числе точках контакта стружки с передней поверхностью, значения σ_1 стремятся к нулю. Максимальные значения напряжения растяжения σ_1 достигают в точке Г (в плоскости А-Г), как показано на рисунке 4, б. Напряжения сжатия σ_3 достигают максимальных значений в сечении А-Б, как показано на рисунке 4, в, г.

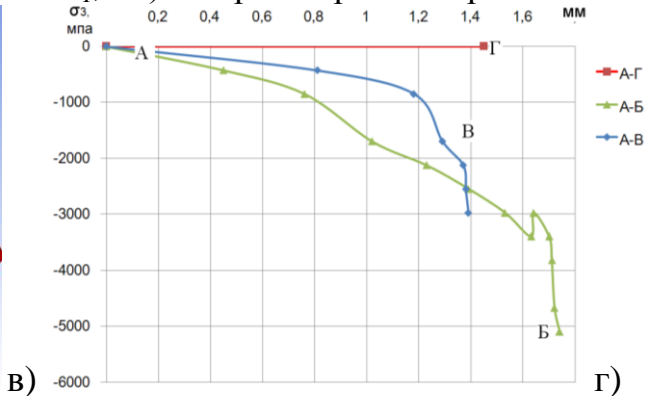
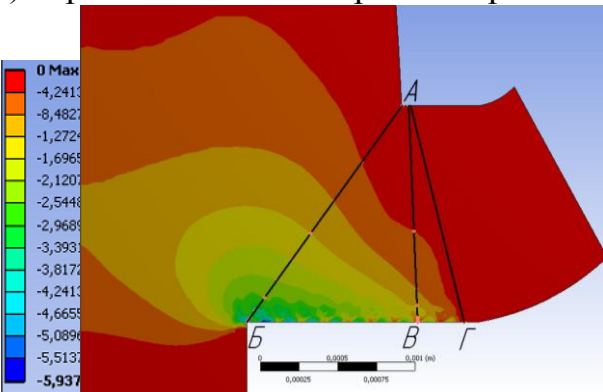
Значения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$, рассчитанных по Мизесу, достигают максимальных значений в плоскости А-Б (теоретической плоскости

сдвига), как показано на рисунке 4, д, е, что коррелирует с представлением о пластическом разрушении сдвигом в этой плоскости.



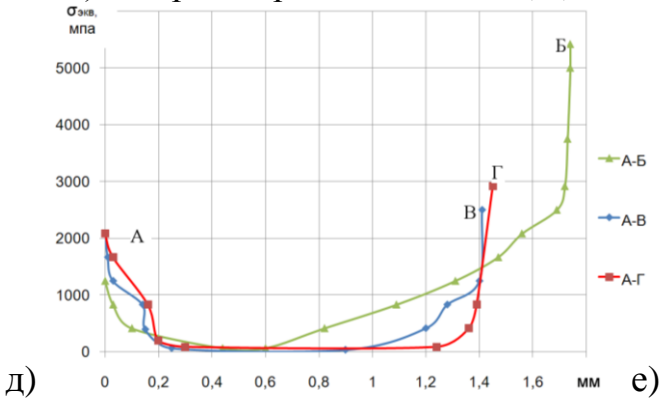
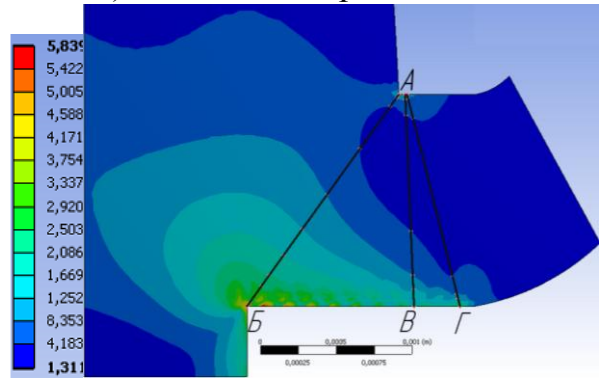
а) Картина изолиний напряжений растяжения σ_1 ;

б) Эпюры напряжений растяжения σ_1



в) Изолиний напряжений сжатия σ_3 ;

г) Эпюры напряжений сжатия (σ_3)



д) Изолинии эквивалентных напряжений $\sigma_{ЭКВ}$ по Мизесу;

е) Эпюры эквивалентных напряжений ($\sigma_{ЭКВ}$)

Рисунок 4 – Результаты имитационного моделирования чернового точения (сталь 10X11H23T3MP $V=10\text{м/мин}$; $t=1\text{мм}$) в продольном сечении стружки

Таким образом анализ результатов исследования НДС стружкообразования показал, что опасные напряжения растяжения σ_1 имеют максимальные значения как в теоретической плоскости сдвига, так и в стружке за пределами этой

плоскости, которые, возможно, в условиях высокотемпературного охрупчивания могут послужить очагами (зонами) разрушения.

В четвёртой главе приведены результаты исследований изменения вида стружки при резании в зависимости от скорости и температуры резания.

Для исследованных в главе 2 материалов, была экспериментально доказана общая тенденция изменения вида стружки в зависимости от температурно-скоростного фактора: элементная, суставчатая, сливная, суставчатая, элементная.

В качестве примера приведены результаты экспериментальных исследований по одному из испытанных материалов, как показано в таблице 1, в температурно-скоростном диапазоне: $\theta=500^{\circ}\text{C} \div 900^{\circ}\text{C}$; $V=20 \text{ м/мин} \div 150 \text{ м/мин}$.

Таблица 1 Изменения видов стружки при точении материала 10X11H23T3MP резцом (BK8 $\gamma=10^{\circ}$, $\alpha=10^{\circ}$, $\lambda=0^{\circ}$, $\varphi=45^{\circ}$) в зависимости от скорости и температуры резания

Характеристика стружки	Сливная спиральная $l \geq 50 \text{ мм}$	Сливная спиральная $l \geq 50 \text{ мм}$	Суставчатая $l \leq 50 \text{ мм}$ 1 – 10 завитков
$S = 0,43 \text{ мм/об}$			
Скорость резания V , м/мин	$V = 22 \text{ м/мин}$	$V = 34 \text{ м/мин}$	$V = 50 \text{ м/мин}$
Температура резания θ , $^{\circ}\text{C}$	600°C	700°C	760°C
Характеристика стружки	Суставчатая $l \leq 50 \text{ мм}$ 1 – 5 завитков	Суставчатая $l \leq 50 \text{ мм}$ 1 – 5 завитков	Элементная 1 завиток
$S = 0,43 \text{ мм/об}$			
Скорость резания V , м/мин	$V = 57 \text{ м/мин}$	$V = 76 \text{ м/мин}$	$V = 112 \text{ м/мин}$
Температура резания θ , $^{\circ}\text{C}$	790°C	860°C	950°C

Анализ результатов эксперимента показал, что для одного и того же материала в зависимости от температурно-скоростного фактора имеет место изменение вида стружки (элементная, сливная, суставчатая, элементная), как показано в таблице 1. В температурном диапазоне максимальной обрабатываемости, представленном

на рисунке 2, вид стружки изменяется из сливной в элементную, (т.е. доказан 3 признак гипотезы).

На основании анализа результатов исследования НДС и вида стружки выявлена механика разрушения обрабатываемого материала при превращении его в стружку на примере жаропрочной стали 10X11H23T3MP:

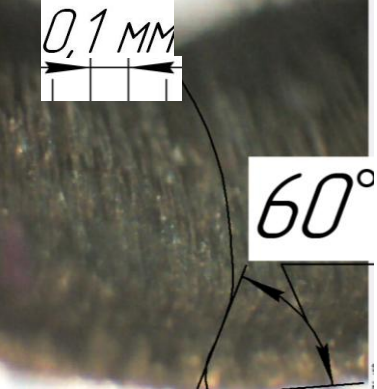
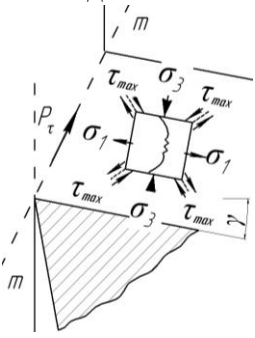
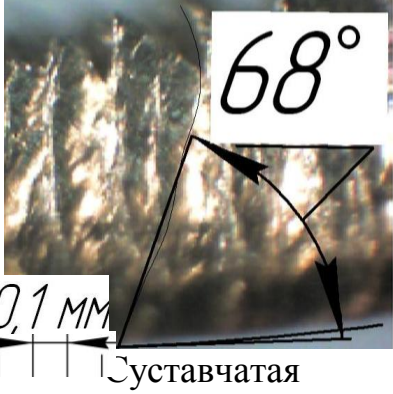
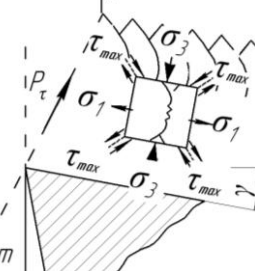
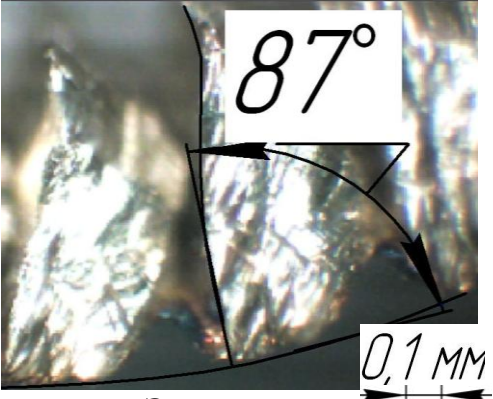
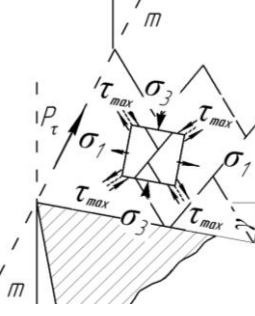
- в температурном диапазоне от 400° до 600° происходит разрушение пластическое: сдвигом в плоскости А-Б в зоне с максимальными значениями эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по Мизесу (вид стружки – сливная, угол поверхности разрушения $\approx 60^\circ$ по отношению к контактной поверхности стружки, коэффициент сплошности $k \approx 0,96$);

- в температурном диапазоне от 800° до 900° при высокотемпературном охрупчивании обрабатываемого материала происходит изменение вида стружки из суставчатой в элементную с углом поверхности разрушения стружки $\approx 90^\circ$ к контактной поверхности стружки. С дальнейшим ослаблением связей между элементами, коэффициентом сплошности, стремящимся к k_{min} , происходит разрушение хрупкое – отрывом в плоскости А-Г, в зоне с максимальными значениями опасных напряжений растяжения σ_1 ;

- в температурном диапазоне от 600° до 800° происходит снижение пластичности, уменьшение величины относительного сужения, как показано на рисунке 1, происходит смешанное разрушение: хрупкое – отрывом и пластическое – сдвигом, в котором действуют и напряжения растяжения σ_1 и эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ по Мизесу (вид стружки суставчатая, угол поверхности разрушения стружки стабилизируется и имеет $\approx 68^\circ$ к контактной поверхности стружки, коэффициент сплошности при этом $k \approx 0,87$);

Выявленная механика разрушения при превращении обрабатываемого материала в стружку хорошо коррелирует с результатами визуального анализа видов стружки в зависимости от температуры резания, как показано в таблице 2.

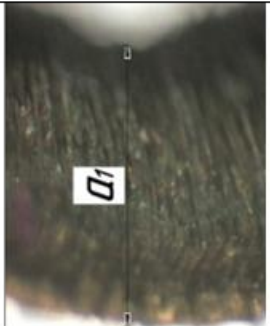
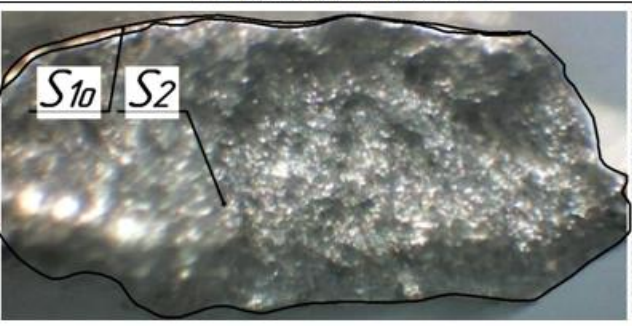
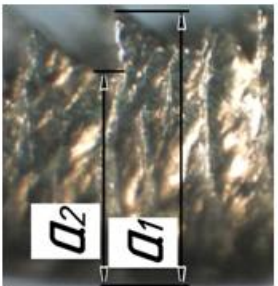
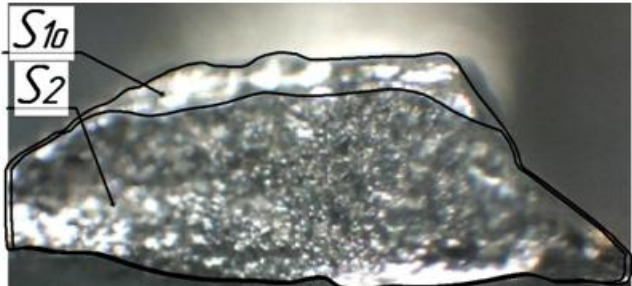
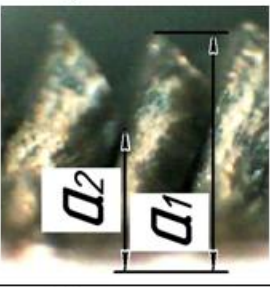
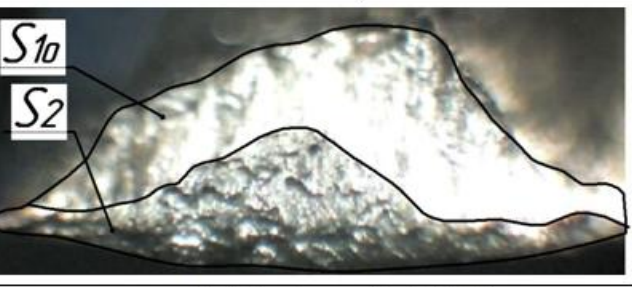
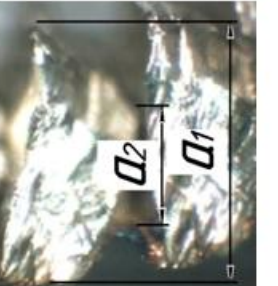
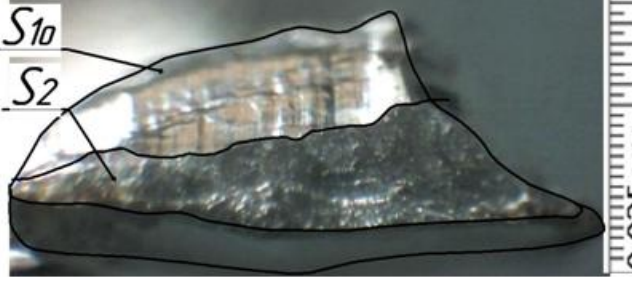
Таблица 2 – Влияние температуры на угол поверхности разрушения стружки при резании стали 10X11H23T3MP

№ п.п.	Вид и угол поверхности разрушения стружки	V м/мин	$\theta^{\circ}\text{C}$	k	ψ	Вид разрушения
№1	 <p>Сливная спираль винтовая</p>	5	560	0,96	64	 <p>Пластическое - сдвигом</p>
№ 3	 <p>Суставчатая</p>	50	760	0,87	59	 <p>Хрупко – пластическое – сдвигом и отрывом</p>
№5	 <p>Элементарная</p>	148	1040	0,64	75	 <p>Хрупкое – отрывом</p>

Но известная методика определения коэффициента сплошности стружки $k=a_2/a_1$ не позволяет точно определять толщину сплошного слоя по всему сечению. Поэтому автором был разработан новый метод определения коэффициента сплошности по отношению проекций в поперечном сечении стружки площади сплошного слоя к максимальной площади стружки $k_s=S_2/S_1$, где S_1 – максимальная площадь

поперечного сечения стружки; S_2 – площадь сплошного слоя поперечного сечения стружки, как показано в таблице 3.

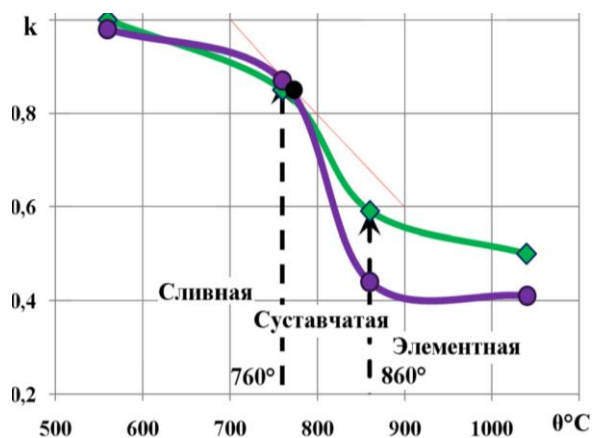
Таблица 3 – Фрактограммы поверхностей разрушения стружки в поперечном сечении в зависимости от температуры резания

Вид стружки	Сталь 10X11H23T3MP Разрушение стружки	Коэффициент сплошности k	
		Методика проф. Розенберга Ю.А.	
		$a_1 = 1,08$ мм $a_2 = 1,08$ мм	$k = 1$
Сливная	$V = 5$ м/мин; $\theta = 560^\circ\text{C}$	авторская методика	
		$S_{1o} = 1,15$ мм ² $S_2 = 1,13$ мм ²	$k = 0,98$
		Методика проф. Розенберга Ю.А.	
		$a_1 = 0,81$ мм $a_2 = 0,7$ мм	$k = 0,85$
Суставчатая	$V = 50$ м/мин; $\theta = 760^\circ\text{C}$	авторская методика	
		$S_{1o} = 0,74$ мм ² $S_2 = 0,65$ мм ²	$k = 0,87$
		Методика проф. Розенберга Ю.А.	
		$a_1 = 0,82$ мм $a_2 = 0,49$ мм	$k = 0,59$
Элементная	$V = 76$ м/мин; $\theta = 860^\circ\text{C}$	авторская методика	
		$S_{1o} = 0,63$ мм ² $S_2 = 0,27$ мм ²	$k = 0,44$
		Методика проф. Розенберга Ю.А.	
		$a_1 = 0,92$ мм $a_2 = 0,46$ мм	$k = 0,5$
Элементная	$V = 148$ м/мин; $\theta = 1040^\circ\text{C}$	авторская методика	
		$S_{1o} = 0,71$ мм ² $S_2 = 0,29$ мм ²	$k = 0,41$

Разработана методика расчёта коэффициента сплошности: используя графическую программу КОМПАС по общему контуру поперечного сечения стружки и кон-

туру сплошного слоя стружки, наносятся сплошные линии, далее в этой же программе производится измерение площадей стружки и расчет коэффициента сплошности k_s .

Результаты, полученные по авторской методике, позволяют определить коэффициент сплошности точнее на 10 %, чем по методике определения коэффициента сплошности в проходящем свете продольного сечения стружки.



◆ - методика по Розенбергу Ю.А.,

● – авторская методика

Рисунок 5 – Зависимость коэффициента сплошности стружки от температуры резания (BK8, $S=0,43$ мм/об, $t=1,5$ мм)

в хрупко – пластическое, а затем хрупкое и вид стружки соответственно: сливная, суставчатая, элементная.

Таким образом по виду и коэффициенту сплошности стружки можно определять диапазон температуры условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов при механической обработке резанием, т.е. доказан 4 признак гипотезы. Таким образом, доказана гипотеза по всем четырём признакам.

В пятой главе приведены три разработанные методики формирования условий максимальной обрабатываемости при резании жаропрочных сталей и сплавов твердосплавным инструментом на основе четырёх признаков доказанной гипотезы:

1. В лабораторных условиях: на установке, показанной на рисунке 2, производят точение резцом участками длиной по 100 мм с разными скоростями резания. В качестве скорости V , обеспечивающей максимальную обрабатываемость, выбирает-

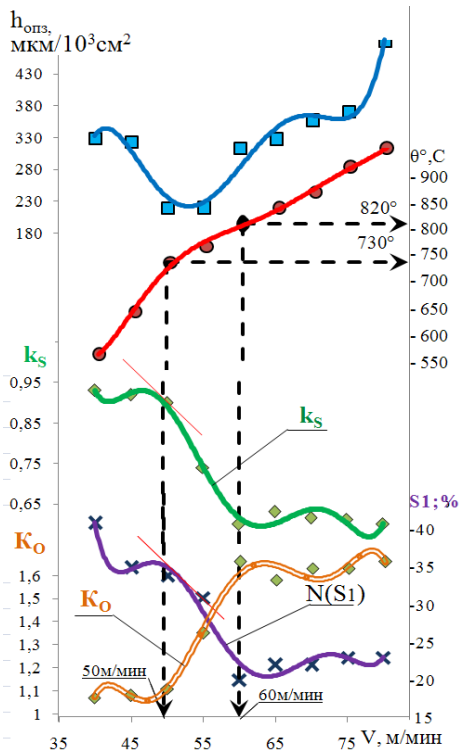
Результаты экспериментальных исследований, изложенных выше, хорошо коррелируют с теоретическими основами образования различных видов стружки, в том числе элементной через коэффициент сплошности стружки k , сформулированными профессором Розенбергом Ю.А. как показано на рисунке 5 и в таблице 3.

В результате исследования было установлено экспериментально, что при изменении температуры во всем температурном диапазоне резания металлов изменяется состояние материала стружки из пластического

в хрупко – пластическое, а затем хрупкое и вид стружки соответственно: сливная, суставчатая, элементная.

ся скорость, при которой полученные параметры P_z , ξ , $h_{\text{опз}}$ принимают минимальные значения (1 и 2 признака).

2. Экспресс методика: определение температуры максимальной обрабатываемости материала по изменению вида стружки из сливной в элементную в зависимости от скорости резания, как показано в таблице 3 (3 признак).



а)



б)

а) Зависимость коэффициента сплошности k_s , нагрузки на шпиндель S_1 , относительного износа по задней поверхности $h_{\text{опз}}$, температуры резания θ , коэффициента обрабатываемости K_0 , от скорости резания V при обработке стали 10X11H23T3MP на станке с ЧПУ, $S=0,4$ мм/об;

б) Окно программы выбора условий максимальной обрабатываемости

Рисунок 6 – Метод определения условий максимальной обрабатываемости

3. В производственных условиях, используя возможности станка с ЧПУ, установлена взаимосвязь скоростного диапазона, в котором величина относительного поверхностного износа $h_{\text{опз}}$, коэффициент сплошности стружки k_s и потребляемая мощность S_1 принимают минимальные значения, как показано на рисунке 6, а) и соответствует условиям максимальной обрабатываемости (1, 2 и 4 признака).

Наглядная интерпретация методики представлена в виде изображения в Окне ПК на рисунке 6, б).

В заключении сформулированы выводы и результаты:

1. Решена научно-техническая задача по разработке метода формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов путем высокотемпературного охрупчивания при резании, имеющая значение для машиностроительных отраслей, определяющая уровень развития страны: энергетика; авиация; ракетостроение и др.

2. Разработано устройство, с помощью которого определяют условия максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов по виду стружки, получен патент на полезную модель №142320, МПК G01K7/00 (2006.01).

3. Доказана научная гипотеза о том, что температура максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов соответствует температуре высокотемпературного охрупчивания, при которой зависимости механических характеристик материалов (ψ , δ ,) от температуры имеют минимальные значения.

4. Экспериментально установлена взаимосвязь вида стружки (сливная, суставчатая, элементная) с температурно-скоростным фактором и механическими характеристиками обрабатываемого материала.

5. Выявлена механика процесса образования стружки и зоны вероятного разрушения обрабатываемого материала сдвигом, отрывом, сдвигом и отрывом, вид которого определяется напряжённо-деформированным состоянием и изменяющимися свойствами обрабатываемого материала во всем температурно-скоростном диапазоне резания металлов и отражается изменением величины угла поверхности разрушения стружки от температуры в диапазоне от 45° до 90° .

6. Разработан метод формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных металлов при резании путем высокотемпературного охрупчивания, оцениваемой количественно коэффициентом обрабатываемости K_0 .

7. Разработаны РТМ «Метод формирования условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов путем высокотемпературного охрупчивания при резании» и переданы для испытания и внедрения на предприятия ОАО «Сибнефтепровод Тюменский Ремонтно-Механический Завод», ОАО «Газтурбосервис», ЗАО Томский завод электроприводов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Артамонов, Е.В. *Определение оптимальной скорости резания при точении сборными резцами по виду стружки* / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев // *СТИН №11- 2013 . – № 11. – С. 17–19.*
2. Артамонов, Е.В. *Определение максимальной работоспособности инструментов при обработке деталей газотурбинных установок*/ Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев // *Известия высших учебных заведений «Нефть и газ».* – 2013. – № 5. – С. 100–103.
3. Артамонов, Е.В. *О взаимосвязи работоспособности режущих элементов и вида стружки* / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев // *Омский научный вестник. Серия приборы, машины и технологии.* – 2013. – № 3(123). – С. 62–64.
4. Артамонов, Е.В. *Повышение работоспособности сменных режущих пластин сборных инструментов* / Е.В. Артамонов, М.О.Чернышов, Т.Е. Помигалова, Д.В. Васильев // *СТИН №7- 2014 . – С. 19–21.*

Публикации в журналах входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus:

5. Vasil'ev, D.V. *Determining the optimal cutting speed in turning by composite cutters on the basis of the chip*/ E.V. Artamonov, D.V. Vasil'ev// *Russian Engineering Research.* – 2014, Volume 34, Issue 6, pp 404-405
6. Vasil'ev, D.V. *Extending Life of Replaceable cutting plates in composite tools*/ E.V. Artamonov, M.O. Chernyshov, T.E. Pomigalova, D.V. Vasil'ev// *Russian Engineering Research.* – 2015, Volume 35, Issue 1, pp 61-63

Патенты:

7. Пат. №142320 Российская Федерация, МПК G01K7/00. *Устройство для тарирования естественной термопары, измерения сил резания и температуры в процессе резания* / Артамонов Е.В., Васильев Д.В.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - № 2013131205/28; заявл. 08.07.2013; опубл. 27.06.2014 Бюл.№18

8. Пат. №2531336 Российская Федерация, МПК В23В 27/16. Режущая пластина для черновой и чистовой обработки / Артамонов Е.В., Васильев Д.В., Киреев В.В., Чернышов М.О.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - №2013129883; заявл. 28.06.2013; опубл. 20.10.2014 Бюл.№ 29
9. Пат. №2535839 Российская Федерация, МПК В23В1/00. Способ определения оптимальной скорости резания / Артамонов Е.В., Васильев Д.В.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - №2013113474/02; заявл. 26.03.2013; опубл. 20.10.2014 Бюл.№ 35

В других научных изданиях:

10. Артамонов, Е.В. О воздействии температуры резания на вид стружкообразования. / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении. В 2 т. Том 2: Материалы IV научно-технической конференции. – Тюмень: Изд. «Вектор Бук», 2008. – 284 с. – С 9.
11. Васильев, Д.В. Определение условий максимальной работоспособности режущих элементов по виду стружки. [Текст] / А.Р. Шевченко, Д.В. Васильев, К.В. Бакум, // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 2; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. - 284 с. – С. 169 – 172.
12. Артамонов, Е.В. Взаимосвязь явлений при резании металлов и температурный фактор / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев, М.Х. Утешев : под общей ред. М.Х. Утешева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 150 с. Допущено (УМО АМ)
13. Васильев, Д.В. Определение оптимальных условий резания / Васильев Д.В., Макачук А.Е., Тверяков А.М. / сборник научных трудов II Международной конференции аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле» в 4т. Т.1/Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 261с.