

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Факультет машиностроения и транспорта
Кафедра «Технология машиностроения»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему

«Повышение стойкости режущих инструментов путем оптимизации
структуры материала, геометрии режущей части, режимов
обработки и СОТС»

Направление 15.04.05 — Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Профиль Технология машиностроения

Квалификация Магистр

Автор — студент группы 16ММм1

Научный руководитель:
Пензенский государственный университет
наименование организации

Консультанты:

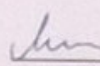
по конструированию и технологии
наименование раздела, звание, должность

по экономике
наименование раздела, звание, должность

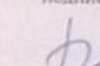
по безопасности жизнедеятельности
наименование раздела, звание, должность

Нормоконтролер:

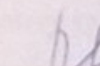
Рецензент:
Пензенский государственный технологический
университет
наименование организации

 19.06.2018
подпись и дата

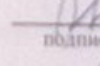
А.С. Лялин
инициалы, фамилия

 19.06.18
подпись и дата

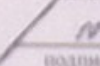
В.З. Зверовщиков
инициалы, фамилия

 19.06.18
подпись и дата

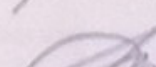
В.З. Зверовщиков
инициалы, фамилия

 19.06.18
подпись и дата

В.З. Зверовщиков
инициалы, фамилия

 19.06.18
подпись и дата

Н.А. Миронычев
инициалы, фамилия

 20.06.18
подпись и дата

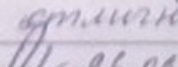
В.В. Голубовский
инициалы, фамилия

ФГБОУ ВО Пензенский государственный технологический университет
Диссертация допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 21.05.18, № 5)

Заведующий кафедрой

А.Е. Зверовщиков

подпись и дата инициалы, фамилия

Работа защищена с оценкой  (протокол ГЭК от 26.06.18, № 3)
Секретарь ГЭК

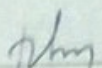
подпись и дата инициалы, фамилия

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой, д.т.н., профессор
Зверовщиков А.Е.
2018г.

ЗАДАНИЕ на магистерскую диссертацию

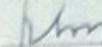
1. Студент гр. 16МММ1 факультета Машиностроения и транспорта направление подготовки 15.04.15 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств: Лялин Антон Сергеевич.
2. Руководитель диссертации: профессор, д.т.н. Зверовщиков В.З.
3. Время работы над диссертацией: с 4 июня по 1 июля 2018 года.
4. Место практики: кафедра «Технология машиностроения» и ООО НПП «Технопроект» г. Пенза.
5. Тема диссертации: «Повышение стойкости режущих инструментов путем оптимизации структуры материала, геометрии режущей части, режимов обработки и СОТС».
6. Исходные данные для выполнения диссертации
 - 6.1. Тема предложена кафедрой «Технология машиностроения» Пензенского государственного университета и ООО НПП «Технопроект» г. Пенза.
 - 6.2. В работе предусмотреть разработку рекомендаций по повышению эффективности точения заготовок из аустенитных сталей на станках с ЧПУ.
7. Объем и содержание диссертации
 - 7.1. Текстовая часть
 - 7.1.1. Аналитический обзор обрабатываемости резанием заготовок из аустенитных сталей.
 - 7.1.2. Анализ и исследование обрабатываемости аустенитных сталей и износа режущей части инструмента при точении.
 - 7.1.3. Исследование процесса ионизации жидкостно-воздушной смеси в охлажденной осевой зоне вихревого потока.
 - 7.1.4. Экспериментальные исследования влияния технологических факторов на стойкость режущего инструмента.
 - 7.1.5. Технико-экономическая эффективность внедрения вихревого охлаждения и ионизации жидкостно-воздушной смеси при точении заготовок из аустенитных сталей
 - 7.1.6. Безопасность жизнедеятельности при работе на технологическом оборудовании с ЧПУ.
 - 7.2. Графическая часть
 - 7.2.1. Детали из аустенитной стали.
 - 7.2.2. Чертеж фланца клина ленточного устройства.
 - 7.2.3. Схема напоя режущего инструмента и повышение стойкости.
 - 7.2.4. Сущность нового способа охлаждения зоны резания
 - 7.2.5. Теоретическое обоснование повышения износоустойчивости
 - 7.2.6. Результаты экспериментальных исследований
 - 7.2.7. Пример практического применения.
8. Консультанты и содержание дополнительных разделов.
 - 8.1. По конструкции устройства.

Разработать конструктивную схему вихревого устройства для охлаждения зоны резания.

Консультант  В.З. Зверовников

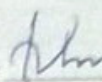
8.2. По технологии

Разработать рекомендации по проектированию операций лезвийной обработки на станках с ЧПУ

Консультант  В.З. Зверовников

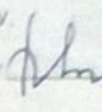
8.3. По технико-экономическому анализу эффективности работы

Выполнить технико-экономическое обоснование ННР

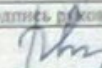
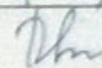
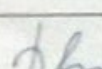
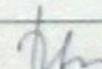
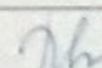
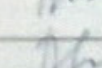
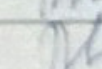
Консультант  В.З. Зверовников

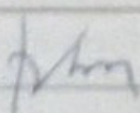
8.4. По безопасности жизнедеятельности деятельности

Безопасность жизнедеятельности при работе на технологическом оборудовании с ЧПУ

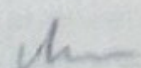
Консультант  В.З. Зверовников

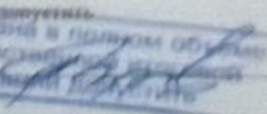
9. Календарный график выполнения диссертации

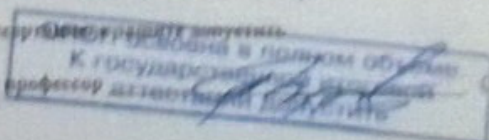
Наименование работы	Объем работы в %	Срок выполнения	Подпись руководителя
1. Обоснование актуальности темы ННР	5	23.05.2018	
2. Аналитический обзор литературных и патентных источников	10	26.05.2018	
3. Определение объекта и предмета исследования. Цель и задачи	5	29.05.2018	
4. Методика исследования: описание процесса и принципиальные схемы. Анализ результатов и их графическое представление	50	6.06.2018	
5. Основные результаты и выводы. Подготовка тезисов	20	8.06.2018	
6. Подготовка диссертации к защите			
6.1 Оформление и представление диссертации и графических материалов на проверку руководителю		9.06.2018	
6.2 Направление диссертации на рассмотрение	10	10.06.2018	
6.3 Подготовка доклада и представление диссертации в защите		13.06.2018	
Защита диссертации на заседании ГЭК		По графику защиты на кафедре	

Руководитель диссертации  В.З. Зверовников

Задание к исполнению принял «22» 05 2018

Исполнитель: магистрант гр. 160404  А.С. Дяков

Магистерскую диссертацию  С.Ю. Кирянов
Дяков Ф.М.Т. д.т.н., профессор магистратуры



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ ЗАГОТОВОК ИЗ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ	9
1.1 Особенности химического состава и свойств аустенитных сталей	9
1.2 Механика процесса резания аустенитных сталей	11
1.3 Причины снижения стойкости металлорежущих инструментов при обработке аустенитных сталей	13
1.4 Вибрации и их роль при обработке заготовок из аустенитных сталей	16
1.5 Влияние состояния режущей кромки на стойкость металлорежущих инструментов	18
Выводы, цели и задачи исследования	22
2. АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ И ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ	24
2.1 Влияние структуры материала на стойкость режущего инструмента	24
2.2 Параметры резания	26
2.2.1 Износ режущей части инструмента при обработке аустенитных сталей	26
2.2.2 Влияние материала режущей части инструмента на износостойкость	31
2.2.3 Покрытие режущей части инструмента как фактор повышения стойкости инструмента	34
2.2.4 Исследование влияния геометрических параметров режущей части инструмента на прочность и стойкость	39
2.2.5 Стружколом инструмента для предотвращения навивания «сливной» стружки	44
2.2.6 Режимы резания и стойкость инструмента	45
2.3 Жесткость технологической системы	49
2.4 Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС)	54
Выводы	56
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОНИЗАЦИИ ЖИДКОСТНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОХЛАЖДЕННОЙ ОСЕВОЙ ЗОНЕ ВИХРЕВОГО ПОТОКА	57
3.1 Способы ионизации жидкостно-воздушной смеси	57
3.2 Сущность нового способа охлаждения зоны резания заготовок из аустенитных сталей жидкостно-воздушной смесью ионизированной в вихревом потоке	59
3.3 Исследование процесса ионизации в вихревом ионизирующем устройстве	62
Выводы	64

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	66
4.1 Описание технологической установки	66
4.2 Исследование температуры в зоне резания	68
4.3 Определение объема жидкости, достаточного для эффективного охлаждения зоны резания.....	69
4.4 Сравнение показателей стойкости инструмента при применении различных СОТС.....	71
Выводы	72
5. Э Технико-экономическая эффективность внедрения вихревого охлаждения и ионизации жидкостно-воздушной смеси при точении заготовок из аустенитных сталей.....	73
6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ	75
6.1 Общие требования охраны труда	76
6.2 Требование охраны труда перед началом работы	77
6.3 Требование охраны труда во время работы.....	78
6.4 Требование охраны труда в аварийных ситуациях	81
6.5 Требование охраны труда по окончанию работы.....	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	84
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Графические материалы	90

ВВЕДЕНИЕ

Рабочие процессы в современных изделиях машиностроительного производства обладают высокими уровнями значений скоростей, давлений, нагрузок и температур. Детали машин из традиционных конструкционных материалов в таких условиях нередко оказываются неработоспособными. Поэтому все большее распространение в машиностроении получают конструкционные материалы, которые обладают особыми свойствами и характеризуются высокими, относительно традиционных, значениями прочности, теплостойкости, твердости, стойкости к окислению в различных химически агрессивных средах. Чтобы достичь этого, осуществляют легирование стали различными химическими элементами, а это существенно снижает их обрабатываемость резанием. К таким конструкционным машиностроительным материалам относятся коррозионностойкие и жаропрочные стали и сплавы. Обработка таких сталей и сплавов, носит проблемный характер, прежде всего, из-за их физико-химических и механических свойств, которые существенно снижают ресурс металлорежущих инструментов при резании этих материалов по сравнению с традиционными конструкционными сталями. Поэтому разработка методов повышения работоспособности инструмента при обработке резанием таких сталей и сплавов, особенно на станках с ЧПУ, является актуальной научно-технической задачей, которая имеет важное практическое значение.

На повышение эффективности обрабатываемости конструкционных машиностроительных материалов направлены работы многих отечественных ученых: Ю.М. Барона, В.Ф. Боброва, А.С. Верещаки, Г.И. Грановского, А.М. Даниеляна, Ю.Н. Жукова, М.И. Клушина, Т.Н. Лоладзе, В.И. Подураева, А.Н. Резникова, А.М., Розенберга, С.С. Силина, Н.В. Талантова, Г.Л. Хаета, Л.Ш. Шустера и др.

Ученые, изучавшие процесс резания для повышения стойкости металлорежущих инструментов, обращали особое внимание на характер изменения состояния режущей кромки клина и показатели его работы. Разработка практических рекомендаций, направленных на сохранение состояния режущей кромки и повышение стойкости режущего инструмента имеет приоритетное значение для повышения эффективности обработки заготовок из высоколегированных сталей на станках с ЧПУ.

В последнее время на производстве широко применяют для обработки станки с ЧПУ в совокупности с инструментом со сменными многогранными пластинами, а для охлаждения зоны резания используют различные смазочно-охлаждающие жидкости, что позволяет добиться существенного повышения стабильности технологического процесса и значительного снижения частоты вмешательства операторов для подналадки технологической системы. Однако такое оборудование и технологическое оснащение являются дорогостоящими и требуют научно-обоснованного подхода для повышения эффективности его использования. Поэтому в последнее время начинают широко практиковать применение так называемых бережливых технологий производства изделий. К ним относится MMS-технология (Minimal Mengen Schmier), которая заключается в подаче минимально необходимого количества смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в зону резания. Это позволяет снизить расходы на СОЖ при сохранении уровня качества обработки деталей машиностроительных изделий.

Цель работы: повышение стойкости твердосплавных инструментов при обработке заготовок из аустенитных сталей путем совершенствования способа подачи СОТС в зону резания и активизации ее взаимодействия с ювенильными поверхностями металла, возникающих при контакте с режущим клином инструмента.

Объект исследования – процесс точения заготовок из аустенитных сталей твердосплавными инструментами.

Предмет исследования – определение связи объема охлажденной жидкостно-воздушной смеси, распыленной в вихревом потоке, и режимов обработки заготовок из аустенитных сталей со стойкостью инструмента.

Основные выводы:

1. Показан механизм износа режущего инструмента при лезвийной обработке аустенитных коррозионностойких сталей.
2. Выполнен анализ факторов влияющих на стойкость инструмента и определены параметры резания, теоретически повышающие его стойкость.
3. Проведен патентный поиск способов охлаждения ионизированным воздухом и выбран прототип нового способа.
4. Подана заявка на изобретение «Способ охлаждения зоны резания заготовок из аустенитных сталей».
5. Исследована зависимость концентрации ионов в жидкостно-воздушной смеси от влажности и давления воздуха на входе в улитку вихревого устройства. Определены оптимальные диапазоны концентрации ионов.
6. Дан сравнительный анализ влияния технологических факторов на температуру в зоне резания и стойкость инструмента.
7. Выполненные исследования показали, что эффективность охлаждения зоны резания зависит от концентрации ионов в диапазоне от 10^3 до 10^5 в 1 см^3 , что обеспечивает наибольшее повышение стойкости инструмента.
8. Годовой экономический эффект от внедрения научных разработок составит 5,656 млн. руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обработка резанием жаропрочных сталей, сплавов и тугоплавких металлов / А. М. Даниелян, П. И. Бобрик. - М.: Машиностроение, 1965. -308 с.
2. Metall Cutting Theory and Practice / D. A. Stephenson, J.S. Agapiou. -New York: Taylor and Francis Group, 2006. -848 с.
3. Advanced Mashining Processes of Metallik Materials: Theory, Modelling and Applications / W. Grzesik. -Amsterdam: Elsevier, 2008. -448 с.
4. Work-hardening in the drilling of austenitik stainless steels / S. Dolinsek //Journal of Materials Processing Technology. -: Elsevier, 2003. -Вып. 133.-С. 63- 70.
5. Влияние механических свойств и теплопроводности сталей на их обрабатываемость / Н. И. Ташлицкий. - М.: Машгиз, 1952. -84 с.
6. Физические основы процесса резания изнашивания и разрушения инструмента / Н. В. Талантов. -М.: Машиностроение, 1992. -240 с.
7. О выборе уравнения состояния обрабатываемого материала для моделирования процесса резания методом конечных элементов / Д. В. Криворучко, В. А. Залого, С. Н. Хвостик //Вестник СумГУ. -2006. -№ 56. -С. 113- 122.
8. Прочность режущего инструмента / Г. Л. Хаеt. - М.: Машиностроение, 1975. - 168 с.
9. Об особенностях напряженного состояния режущей части инструмента при прерывистой работе / Н. Я. Ильченко и др. //Резание и инструмент. -Х., 1979. -Вып. 22.
10. Обработка резанием жаропрочных сталей и сплавов / Я. Л. Гуревич; ред. П. В. Смирнова. - М.: "Рус.", 1960. -32 с.
11. Кинетика изнашивания твердосплавного режущего инструмента / А. М. Пинахин, И. А. Пинахин, А. С. Иванова, А. А. Левченко // Сборник научных трудов: Серия "Естественнонаучная". - Ставрополь: СевКавГТУ, 2004. -№ 1.

12. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. -М.: Машиностроение, 1982. -320 с.
13. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. - М.: Высшая школа, 1974. -587 с.
14. Износ и стойкость режущих инструментов / А. Д. Макаров. - М.: Машиностроение, 1966. -266 с.
15. Адгезионное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом / Л.Ш. Шустер. - М.: Машиностроение, 1988. -96 с.
16. Напряженно деформированное состояние и прочность режущих элементов и инструментов /Е. В. Артамонов, И. А. Ефимович, Н. И. Смолин, М.Х. Утешев; ред. М.Х. Утешев. - М.: Недра: Бизнесцентр, 2001. - 199 с.
17. Механическое изнашивание материалов / М. В. Ханин. - М.: Издательство стандартов, 1984. -152 с.
18. Разработка состава аустенитной коррозионностойкой стали с улучшенной обрабатываемостью резанием для систем выпуска отработанных газов автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.01/ Сахаров В.В. - Самара, 2006. -157 с.
19. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава / А. С. Верещака, А. В. Дачева, А. И. Аникеев //Известия Московского государственного технического университета "МАМИ". -М.: МГТУ "МАМИ", 2010. -№ 1. -С. 99- 106.
20. Механизм изнашивания твердосплавного инструмента при высоких температурах резания / Д. М. Гуревич // Вестник машиностроения. -1976. -№ 3. -С. 73- 75.
21. Влияние неустойчивости процесса стружкообразования и особенностей контактного взаимодействия на износ твердосплавного инструмента при резании аустенитной нержавеющей стали / Н. В. Талантов, А. А. Липатов

- //Физические процессы при резании металлов: Межвузовский сборник научных трудов. - Волгоград: ВолгПИ, 1987.
22. Структурно-энергетический подход к процессу изнашивания режущего инструмента / Ю. Г. Кабалдин //Вестник машиностроения. - 1990. -№ 12.
 23. Природа изнашивания твердосплавного режущего инструмента / Ч. Г. Байрамов - Баку: ЭЛМ, 2000. -192 с.
 24. Жесткость и виброустойчивость тяжелых фрезерных станков / Н. А. Козловский, М. П. Зайкин, ред. П. И. Ящерицын. - Мн: Наука и техника, 1986. -135 с.
 25. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения / Л. К. Кучма. - М.: Машгиз, 1959. -72 с.
 26. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. - Л.: Машиностроение, 1986. -184 с.
 27. Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing / C. J. Rodriguez -Kassel: Kassel university press GmbH, 2009. -205 с.
 28. Износ резца и шероховатость поверхности / А. В. Глазунов, Н. А. Макаров. // Свойства материалов при повышенной температуре и аппаратура для испытания: Сборник научных трудов. -М.: МИФИ, 1972. -С. 89- 107.
 29. Особенности геометрии износа резцов при тонком точении стали 38ХМЮА / С. Н. Филоненко, Г. Ф. Алейниченко. // Резание и инструмент. -Х., 1971. -Вып. 4. -С. 67- 79.
 30. Роль радиуса округления режущей кромки в процессе резания / В. А. Наумов. //Вопросы автоматизации контроля и технологии машиностроения. - Омск, 1970. -С. 93- 97.
 31. Процесс образования стружки и динамика износа инструмента в условиях тонких срезов / Г. Л. Цвирко. // Труды Уральской юбилейной научной сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения. - Курган, 1969. -С. 65- 68.

32. Радиус округления режущих кромок твердосплавного инструмента / В. А. Синопальников, Э. Ф. Эйхманс. // Станки и инструмент. -1965. -№ 6. -С. 35- 37
33. Патент РФ №2016738 МПК В23Q 11/10 «Устройство для охлаждения зоны резания» / Татаринов А.С., Петрова В.Д., Подураев В.Н., заявитель – Научно-исследовательский институт конструкционных материалов и технологических процессов при МГТУ им. Н.Э. Баумана; патентообладатели: Татаринов Александр Степанович, Петрова Виктория Дмитриевна, Подураев Виктор Николаевич, - заявка №4839399/08 от 15.06.1990, опубл. 30.07.1994.
34. Описание изобретения к патенту РФ №2098723 МПК F25B 9/02 «Вихревая труба» / Курносов Н.Е., Жулимов Ю.Н., Каширский А.С., заявитель и патентообладатель Курносов Николай Ефимович, - заявка №95115194/06 от 25.08.1995, опубл. 10.12.1997.
35. Описание полезной модели к патенту 1259/5 РФ МПК В23Q 11/10 «Устройство для охлаждения зоны резания» / Курносов Н.Е., Николотов А.А., Асосков А.С., Лебединский К.В., Кирин Е.М.; заявитель и патентообладатель: Пензенский государственный университет, - заявка №2014105232/02 от 12.02.2014; опубл. в бюл. №17 20.06.2014.
36. Патент РФ №2324582 МПК В23Q 11/10 «Способ охлаждения зоны резания и устройство для его осуществления» / Курносов Н.Е., Трилисский В.О., Тарнопольский А.В., Николотов А.А., Такташкин Д.В., Елистратова А.Г., Тарнопольская Н.К., заявитель и патентообладатель: Пензенский государственный университет, - заявка №2006 115974/02 от 10.05.2006, опубл. в бюл. №32 20.11.2007.
37. Исследование характера контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхности инструмента при резании аустенитной стали / Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л., Кормилицин С.И. //ИЗВЕСТИЯ ВолГТУ: ВолГТУ. -С. 27- 29.
38. Особенности перехода от наростообразования к взаимодействию с пластическим контактом при обработке аустенитной стали / Липатов

- А.А.//ИЗВЕСТИЯ ВолГТУ: ВолГТУ. 2011 -С. 31- 34.
39. Расчет температуры на площадке износа задней поверхности режущего инструмента при обработке аустенитной и перлитной сталей / Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л. //ИЗВЕСТИЯ ВолГТУ: ВолГТУ. -С. 34- 37.
40. Влияние переднего угла на износ твердосплавного инструмента при точении аустенитной стали в условиях неустойчивого стружкообразования / Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л. //ИЗВЕСТИЯ ВолГТУ: ВолГТУ. 2011 -С. 31- 34.
41. Моделирование процесса точения нержавеющей стали твердосплавной сменной многогранной пластиной / Чемезов Д.А., Баякина А.В. // Приволжский научный вестник: Ижевск, №6(34) -2014, с.43-51.
42. Рациональное использование твердосплавного инструмента при прерывистом точении стали / Бутыгин В.Б., Демидов А.С. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13, №1(13), 2011, с.541-543.
43. Износостойкость сменной многогранной пластины при точении нержавеющей стали на различных режимах резания / Чемезов Д.А. // ISJ Theoretical & Applied Science, 07(39): 57-64.
44. Влияние подвода СОТС под давлением на поверхности сменной твердосплавной пластины при точении аустенитной стали / Кузнецов В.П., Пиженков Е.Н., Мазилкин Н.Д., Скоробогатов А.С. // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2017. № 2 (41). С. 181-184.
45. Направления повышения эффективности механической обработки duplex-коррозионностойких сталей / Фам Х.Ч., Чигиринский Ю.Л., Липатов А.А. // В сборнике: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей III Международной научно-практической конференции. 2016. С. 89-92.
46. Особенности диффузионного изнашивания вольфрамкобальтового твердого сплава при точении высоколегированной аустенитной стали / Липатов А.А. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 10. № 20 (123). С. 39-42.

47. Особенности контактного взаимодействия при обработке высоколегированных сталей / Липатов А.А. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 4. С. 10-14.
48. Температурно-силовые характеристики контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхности инструмента при точении аустенитной стали / Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л., Кормилицин С.И. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 2. С. 38-42.
49. Характер распределения температуры по длине контакта обрабатываемого материала с площадкой износа задней поверхности инструмента при точении аустенитной стали / Липатов А.А. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 12. № 21 (148). С. 24-26.
50. GARANT ToolScout. Справочник по обработке резанием.
51. PRAMET. Каталог 2016.
52. KORLOY. Металлорежущий инструмент 2016-2017.

Приложение. Графические материалы