

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.Е. Косенко  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Совершенствование технологии лезвийной обработки путем охлаждения зоны  
резания ионизированным в вихревых потоках воздухом»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
Машиностроительных производств»  
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технологии космических аппаратов»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	доцент МБК ПФиКТ, канд.техн.наук должность, ученая степень	<u>В.Н.Наговицин</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.И. Рудич</u> инициалы, фамилия
Рецензент	_____	зам.начальника Цеха 053 АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева». должность, ученая степень	<u>С.А. Шагин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____	профессор МБК ПФИКТ, д-р техн.наук, доцент должность, ученая степень	<u>В.Е. Чеботарев</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.Е. Косенко  
подпись                      инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
в форме магистерской диссертации

Студенту Рудич Анне Игоревне.

Группа МТ 19-04М.

Направление 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Специализированная программа подготовки: 15.04.05.02 «Технология космических аппаратов».

Тема магистерской диссертации (МД): «Совершенствование технологии лезвийной обработки путем охлаждения зоны резания ионизированным в вихревых потоках воздухом».

Утверждена приказом по университету № 19878/с от «22» ноября 2019 г.

Руководитель МД: В.Н. Наговицин, к-т техн. наук, доцент МБК МБК ПФиКТ.

Исходные данные для МД: Основные направления совершенствования технологии алмазного торцового шлифования путем применения смазочно-охлаждающих технологических средств.

Перечень разделов МД:

- 1 Аналитический обзор технологических методов обеспечения качества поверхностей деталей из конструкционных сталей.
- 2 Результаты исследования процессов ионизации воздуха вихревыми потоками.
- 3 Результаты исследований влияния режима резания и концентрации ионов на шероховатость.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: слайды презентации в количестве 18 штук.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ В.Н. Наговицин  
подпись

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ А.И. Рудич  
подпись

«18» ноября 2019 г.

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме: «Совершенствование технологии лезвийной обработки путем охлаждения зоны резания ионизированным в вихревых потоках воздухом» содержит 99 страницы текстового документа и 35 использованных источников, 10 формул, 45 иллюстраций.

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ИОНИЗИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ШЕРОХОВАТОСТЬ, СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Цель данной работы - совершенствование процесса лезвийной обработки при технологическом обеспечении показателей качества поверхностного слоя и повышении стойкости лезвийного инструмента путем подачи в зону резания СОТС в виде ионизированного и охлажденного в вихревых потоках воздуха и разработка оборудования для его получения.

#### Основные задачи.

1 Выполнить анализ существующих способов технологического обеспечения качества поверхностей и снижения затрат на лезвийную обработку деталей из конструкционных сталей.

2 Разработать устройство для ионизации и охлаждения воздуха в вихревых потоках на основе баллоэлектрического эффекта.

3 Выполнить исследования температуры в зоне резания и стойкости лезвийного инструмента при токарной обработке с охлаждением ионизированным воздухом.

#### Практическая ценность работы.

1 Даны рекомендации и разработан алгоритм назначения рациональных режимов механической обработки при подаче в зону резания ионизированного воздуха, реализованный в программе Mathcad.

2 Разработано простое и эффективное устройство для ионизации и одновременного охлаждения воздуха в зоне резания.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Аналитический обзор технологических методов обеспечения качество поверхностей деталей из конструкционных сталей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Технологические методы обеспечения качества поверхностей деталей из конструкционных сталей.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Способы и технические устройства для получения и подачи ионизированного воздуха в зону резания .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Процессы ионизации воздуха вихревыми потоками ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2 Результаты исследования процессов ионизации воздуха вихревыми потоками.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Исследование влияния ионизированного воздуха на температуру в зоне резания .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Исследование влияния охлажденного вихревыми потоками воздуха на температуру в зоне резания .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3 Результаты исследований влияния режима резания и концентрации ионов на шероховатость .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Исследование влияния охлажденных ионизированных воздушных сред на стойкостные характеристики быстрорежущего инструмента .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Влияние охлажденных воздушных сред на температуру в теле резца .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Исследование остаточных напряжений в поверхностном слое после обработки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.4 Исследование корней стружек и глубины деформированного слоя после обработки резанием .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5 Исследование влияния охлажденного ионизированного воздуха на усадку стружки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6 Исследование влияния охлажденного ионизированного воздуха на шероховатость обработанной поверхности. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7 Выводы по главе .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Заключение .....	8
Список сокращений .....	11
Список использованных источников .....	12

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и цели. Температура в зоне резания является негативным фактором при механической обработке. Увеличение температуры в зоне резания способствует увеличению шероховатости обработанной поверхности, снижению стойкости лезвийного инструмента, снижению производительности и увеличению себестоимости механической обработки. Применение физически и химически активного ионизированного воздуха в качестве смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС) способствует улучшению показателей механической обработки. Температура в зоне резания при этом становится позитивным фактором, способствующим высокой скорости физико-химических процессов, протекающих в зоне резания и являющихся основой действия ионизированного воздуха.

Известно, что получение ионизированного воздуха и его подача в зону резания на станках осуществляются устройствами, в которых последовательно установлены труба Ранка и коронный ионизатор. Технически рациональнее получать ионизированный воздух с помощью баллоэлектрического эффекта в вихревых потоках воздуха; при этом используется только энергия увлажненного сжатого воздуха под давлением до 0,6 МПа.

Материалы и методы. Исследования выполнялись в лабораторных и производственных условиях с использованием аттестованных приборов и средств измерения. Результаты исследований обработаны с применением программных пакетов LGraph2, Mathcad 13 и др.

Практическая ценность работы заключается в повышении производительности труда, улучшении показателей качества обработанных поверхностей, увеличении стойкости абразивного инструмента. Полученные результаты позволяют разработать технологический процесс обработки сталей 45, ХВГ, 13ХНЗА, обеспечивающий необходимые требования к деталям на стадии окончательной обработки.

[изъято с 8-91 стр.]



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают возможность эффективного использования при лезвийной обработке конструкционных материалов в качестве СОТС охлажденного ионизированного воздуха. Его использование обеспечивает уменьшение значения шероховатости в 2,3 раза и микротвердости в 1,12 раза на обработанной поверхности. При этом повышается стойкость режущего инструмента в 1,9 раза при черновой обработке и в 2,8 раза при чистовой, снижаются себестоимость обработки на 25–30 % и экологическая нагрузка на окружающую среду за счет ограничения потребления вододисперсионных и маслосодержащих смазочно-охлаждающих жидкостей. Разработанная система для охлаждения режущего инструмента и зоны резания охлажденным ионизированным воздухом «InAir» позволяет обеспечить подачу охлажденного ионизированного воздуха в зону обработки для охлаждения режущего инструмента и зоны резания в составе технологического оборудования для обработки конструкционных материалов.

Выводы по работе.

1 Установлено, что охлажденный в вихревой трубе ионизированный воздух увеличивает стойкость инструмента при обработке стали 45 до ГО раз по сравнению с резанием в атмосфере воздуха и до 1,5 раз по сравнению с применением эмульсола-Т; снижает температуру в контактной зоне в 2-3 раза; улучшает характеристики процесса резания и качество обработанной поверхности.

2 Механизм действия охлажденной ионизированной заключается в повышении охлаждающей функции СОТС и усилении смазочного действия ионизированного воздуха за счет выделения в последнем микро- и нанодозы воды в результате преодоления точки росы.

3 Выявлено, что эффективность охлаждения при использовании вихревой трубы проявляется при давлении на входе 0,2 МПа и более. Повышение давления, питающего вихревую трубу, более 0,6 МПа приводит к

дестабилизации процесса резания вследствие изменения геометрии выходного сопла из-за образования инея.

4 Установлено уменьшение величины остаточных напряжений на 10-15% при обработке с использованием охлажденной ионизированной среды по сравнению с резанием в атмосфере воздуха и использованием эмульгированных и масляных СОЖ.

5 Выявлено увеличение условного угла сдвига и уменьшение поверхностных значений твердости с 260 до 240 кг/мм и глубины деформированного слоя при резании в среде охлажденного ионизированного воздуха по сравнению с обработкой в атмосфере воздуха, что объясняется изменением условий взаимного перемещения трибосопряженных поверхностей инструментального и обрабатываемого материала.

6 Зафиксировано уменьшение коэффициента трения на 25-30% при применении охлажденной ионизированной среды по сравнению с трением на воздухе, что обусловлено интенсивным формированием оксидов железа (FeO и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) на трущихся поверхностях.

7 Годовой экономический эффект от внедрения технологии охлаждения и смазки быстрорежущего инструмента составляет 3000 рублей на 1 станок.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АЦП– Аналогово-цифровым преобразователем;
- СОЖ – Смазочно-охлаждающие жидкости;
- СОТС – Смазочно-охлаждающих технологических средства.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Schmidt, J. Hochleistungsbearbeitung ohne Kühlmittel / J. Schmidt // Werkstatt und Betrieb. – 2001. – № 9. – P. 38, 40, 42, 47–49.
- 2 Новиков, В.В. Свойства режущих масел с присадками жидких кристаллов / В. В. Новиков, В. Н. Латышев, М. С. Маршалов, Е. Е. Нуждина, Москва, А. Колбашов // Трение и износ. – 2011. – № 6. – С. 452–456.
- 3 Латышев, В.Н. Экспериментальные исследования трибологических явлений при резании материалов / В. Н. Латышев, А. Г. Наумов, В. С. Раднюк, Д. С. Репин, К. В. Курапов, М. С. Маршалов, С. А. Жуковский, О. В. Ткачук // Трение и износ. – 2010. – № 5. – С. 500–510.
- 4 Лебединский, К. В. Система подачи охлажденного ионизированного воздуха «InAir» для охлаждения режущего инструмента / К. В. Лебединский, И. Я. Юнкин, А. В. Никишин // Разработка и внедрение ресурсосберегающих и импортозамещающих технологий и устройств. – Пенза, 2016. – С. 80–83.
- 5 Ionization of air in a ranque–hilsch vortex tube and the method of obtaining uni- and bipolar ionization / N. E Kurnosov, K. V. Lebedinskiy, A. A. Nikolotov and D. P. Ale- № 4 (44), 2017 Технические науки. Машиностроение и машиноведение Engineering sciences. Machine science and building 79 kseev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, № 6. – P. 1476–1482 .
- 6 Turning of structural steel while supplying cooled ionized air to the cutting zone / N. E. Kurnosov, K. V. Lebedinskiy, A. V. Tarnopolskiy, A. S. Asoskov, Y. P. Pereygin // Australian Journal of Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 13, № 2. – P 1–7.
- 7 Чекалова, Е. А. Механическая обработка с применением активированного воздуха / Е. А. Чекалова, П. Д. Чекалов // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров. – Москва, 2012. – С. 182–185.

8 Новик, О. В. Научное наследие А. Л. Чижевского в современном машиностроении / О. В. Новик, В. В. Калмыков // Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе. – Москва, 2013. – С. 70–75.

9 Пат. 2016119810 МПК В23Q11/10. Российская Федерация, Устройство для охлаждения режущего инструмента охлажденным ионизированным воздухом / Н. Е. Курносков, К. В. Лебединский, А. А. Николотов, Д. П. Алексеев; заявитель и патенто-обладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 24.05.16 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.

10 Бахарев, П.П. Повышение работоспособности быстрорежущего инструмента путем применения воздушных сред, активированных коронным разрядом: дисс... канд. техн. наук: 05.03.01. / Бахарев Навел Павлович. - Иваново, 2005. 132 с.

11 Бобровский, В.А. Электродиффузионный износ инструмента и борьба с ним / В.А. Бобровский. – Москва, : «Московский рабочий», 1969. — 104 с.

12 Болога, М.К., Электроконвекция и теплообмен / М.К. Болога, Ф.П. Гроссу, И.А. Кожухарь. - Кишинев: Штиница, 1977. - 320 с.

13 Щ. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — Москва, : Физматгиз, 1972.

14 Васильев, Д.Т. Стойкость инструмента при обработке высокопрочных материалов / Д.Т. Васильев // Сб. «Обработка жаропрочных сплавов». - Изд-во АН СССР. - 1960.

15 Ватагин, Ю.М. Исследование распределения и характера изменения температур при резании металлов в различных внешних средах: дисс... канд. техн. наук. / Ватагин Юрий Михайлович. - Горький. 1970. 151 с.

16 Вейлер, С.Я. Действие смазок при обработке металлов давлением / С.Я. Вейлер, В.И. Лихтман // Изд-во АН СССР. - 1961.

17 Верещака, А.С. Влияние условий экологически безопасного резания с охлаждением ионизированной газовой средой на качество поверхностного слоя

и долговечность деталей / А.С. Верещака,-В.А Проклад, В.А. Горелов, Ю.В. Полоскин, А.Н. Петухов, О.В. Хаустова // Двигатели и экология: Тез. докл. науч.-техн. симпозиума — Москва,: ВВДХ. 2002.

18 Верещака, А.С. Исследование теплового состояния режущих инструментов с помощью многопозиционных термоиндикаторов / А.С. Верещака, М.В. Провоторов, В.В. Кузин, Е.А. Тимощук, А.А. Майер// Вестник машиностроения. — 1986, №1. — Сакт- Петербург, 45-49.

19 Володин, Ю.В. Термодинамический анализ особенностей влияния галогенов на механическую обработку металлов / Ю.В. Володин, Н.В. Перцов // Москва,: Вестник МГУ. Химия. - 1984. - 12с.

20 Вульф, А.М. Резание металлов. / А.М. Вульф. – Ленинград,: Машиностроение, 1973.-496 с.

21 Выхрестюк, Н.И. Масс-спектрометрический метод исследования загрязнений воздуха при применении СОТС / Н.И. Выхрестюк, Д.А. Ткаченко, В.С. Микитенко // Тез. докл. "Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов". - Киев, 1992. — С. 74.

22 Гаврилов, Г.М. Струйное охлаждение инструментов распыленными жидкостями / Г.М. Гаврилов, А.А. Смирнов // Куйбышев. - 1966.

23 Гордон, М.Б. Исследование трения и действия внешней среды в процессе резания металлов: дисс... докт. техн. наук. - Горький, 1967.

24 Гордон, М.Б. О физической природе трения и механизме смазочного действия внешних сред при резании металлов / М.Б. Гордон // Сборник "Научно-технические основы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов". - Иваново, 1968. — С. 21-45.

25 ГОСТ 21073-75. Металлы цветные. Определение величины зерна. Общие требования. – Москва,: Издательство стандартов, 1976. - 5 с.

26 Гостев, Г.В. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на силы резания, усадку стружки и сопротивление пластическому деформированию / Г.В. Гостев // Сб. «Научно-технические основы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов». - Иваново, 1965. 2\$-.

Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – Москва,: Высшая школа, 1985. - 304с.

27 Громько, Г.Д. Смазочное действие кислородсодержащих органических соединений в зоне обработки металлов резанием. / Г.Д. Громько,-А.И. Разумовская // Вопросы действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием: тез. докл. всесоюзн. научно-технич. совещания. — Горький, 1975. — Сб. №2. - С. 25-32.

28 Демьяновский, Н.А. Изучение влияния структуры воздушной плазмы ti на изнашивание быстрорежущего инструмента: дисс... канд. техн.

29 наук: 05.03.01. / Демьяновский Николай Анатольевич. - Иваново, 2006. 132 с.

30 32: Долганов, А.М. Совершенствование технологии шлифования плоских поверхностей с воздушным вихревым охлаждением: автореф. дисс...канд. техн. наук: 05.03.01. / Долганов Александр Михайлович. - Ижевск, 2007. - 18с.

31 Дробышева, О.А. Исследование воздействия газовых сред на процесс резания стали: дисс...канд. техн. наук: 05.03.01. / Дробышева Ольга Александровна.- Иваново, 1972. - 173 с.

32 Евдокимов, А.Ю. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимова. — Москва,: Нефть и газ, 2000. - 424 с.

33 Епифанов, Г.И. Влияние среды на процесс деформации и разрушения металлов при резании: дисс... докт. техн. наук. / Епифанов Георгий Иванович.- Москва, 1955.

34 Рудич А.И. Разработка механического участка с ЧПУ для изготовления сборочных единиц наземной антенны / А.И. Рудич, В.С. Терехина, А.В. Фищенко, В.А. Лисин // Решетневские чтения : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (11–15 нояб. 2019, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2019. Ч. 1.

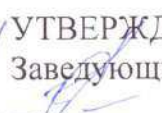
35 Рудич А.И. Совершенствование технологии лезвийной обработки путем охлаждения зоны резания ионизированным в вихревых потоках воздухом / А.И. Рудич, В.С Терехина, А.С. Жильский // Решетневские чтения : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2020. Ч. 1.



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 В.Е. Косенко  
подпись                      инициалы, фамилия  
«28» 06 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Совершенствование технологии лезвийной обработки путем охлаждения зоны  
резания ионизированным в вихревых потоках воздухом»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
Машиностроительных производств»  
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технологии космических аппаратов»  
код и наименование магистерской программы

Научный  
руководитель

  
подпись, дата

доцент МБК ПФиКТ,  
канд.техн.наук  
должность, ученая  
степень

В.Н.Наговицин  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

А.И. Рудич  
инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата 29.06.21

зам.начальника  
Цеха 053 АО «ИСС»  
имени академика  
М.Ф. Решетнева».  
должность, ученая  
степень

С.А. Шагин  
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

  
подпись, дата 21.06.21

профессор МБК  
ПФиКТ, д-р  
техн.наук, доцент  
должность, ученая  
степень

В.Е. Чеботарев  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021