

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машиностроения и транспорта

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И. Луковникова

« _____ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ**

Б1.В.ДВ.02.01

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

**15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ
Технология машиностроения**

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	5
4.3 Лабораторные работы.....	11
4.4 Практические занятия.....	11
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	11
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	12
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	13
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	13
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	13
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	14
9.1 Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.....	14
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата	21
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	21
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	21
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	22
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	26
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	27
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	28

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – освоение на практике и совершенствование прогрессивных методов и технологий обработки металлов, сверхтвёрдых и высокопрочных материалов, а также современных наноматериалов, включая участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с учетом научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в металлообрабатывающей отрасли.

Задачами изучения дисциплины является:

- развитие способности использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-4	способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа	знать: - основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества; уметь: - разрабатывать процессы изготовления машиностроительных изделий требуемого качества; владеть: - навыками изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.
ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.	знать: - методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств; уметь: - разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий; владеть: - навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 Прогрессивные методы и технологии обработки металлов является дисциплиной по выбору вариативной части.

Дисциплина Прогрессивные методы и технологии обработки металлов базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- «Физика»;
- «Процессы и операции формообразования»;
- «Технологические процессы в машиностроении».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Прогрессивные методы и технологии обработки металлов представляет основу для изучения дисциплин:

- «Основы технологии машиностроения»;
- «Технология машиностроения»;
- «Основы электрофизических и электрохимических процессов обработки».

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
Очная	3	5	180	85	17	51	17	68	-	экзамен
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			5
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	85	17	85
Лекции (Лк)	17	17	17
Лабораторные работы (ЛР)	51	-	51
Практические занятия (ПЗ)	17	-	17
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	68	-	68
Подготовка к лабораторным работам	34	-	34
Подготовка к практическим занятиям	17	-	17
Подготовка к экзамену в течение семестра	17	-	17
III. Промежуточная аттестация экзамен	27	-	27
Общая трудоемкость дисциплины, час. зач. ед.	180	-	180
	5	-	5

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий - для очной формы обучения:

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1.	Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами	38	4	13	4	17
1.1.	Методика исследования	5	1	1	-	3
1.2.	Атомистическое моделирование	16,5	1,5	6	2	7
1.3.	Анализ дефектов алмаза	16,5	1,5	6	2	7
2.	Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами	38	4	13	4	17
2.1.	Воздействие точечных дефектов (микродефекты)	5	1	1	-	3
2.2.	Воздействие объемных дефектов (макродефекты)	16,5	1,5	6	2	7
2.3.	Воздействие точечных и объемных дефектов на износ алмазов	16,5	1,5	6	2	7
3.	Об актуальности прогрессивных методов обработки	37	4	12	4	17
3.1.	Краткий анализ ключевых слов из группы Инструментальные материалы	6	1	2	-	3
3.2.	Краткий анализ ключевых слов из группы Инструменты	15,5	1,5	5	2	7
3.3.	Краткий анализ ключевых слов из группы Технологии	15,5	1,5	5	2	7
4.	Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами	40	5	13	5	17
4.1.	Механическая адгезия	4,5	1,5	1	-	2
4.2.	Адсорбционная или молекулярная адгезия	11,5	1,5	4	1	5
4.3.	Химическая адгезия	12,5	1,5	4	2	5
4.4.	Электрическая адгезия	11,5	0,5	4	2	5
	ИТОГО	153	17	51	17	68

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами

С того момента, как в металлорежущем инструменте стал применяться синтетический алмаз, исследователей интересовал вопрос причин образования засаленного слоя на поверхности алмазных шлифовальных кругов. В настоящее время поиск ответа на данный вопрос является актуальным как с точки зрения фундаментальной науки, так и компьютерного моделирования объектов физики твердого тела, что стало возможным в результате стремительного развития информационных технологий, внедрения их во все сферы науки и техники.

Научные работы многих авторов служат основой для расширения технологических возможностей алмазного инструмента при решении актуальных производственных задач во многих областях науки и техники. Но и они не в полной мере раскрывают физические аспекты образования засаленного слоя. Дело здесь даже не в том, что частично наукой были определены разнообразные способы минимизации засаливания, а в том, что с "самым главным" режущим инструментом – алмазным, поиск этих способов все еще не закончен. Поэтому исследователям остается лишь констатировать, что, не смотря на то, что круги из кубического нитрида бора менее пригодны для шлифования керамических, сверхтвердых, труднообрабатываемых материалов, современных инструментальных наноматериалов, но производство вынуждено было использовать их там, где предпочтительнее было использовать алмаз.

Вероятно, ответ на данный вопрос можно найти только на стыке разных областей – физики твердого тела, материаловедения, синтеза алмаза, резания металлов. А объединить знания и наглядно показать, визуализировать все нюансы процесса резания представляется возможным при помощи компьютерного моделирования шлифования методами молекулярной динамики.

Различным аспектам теории и практики технологии шлифования посвящены работы: Г.В. Бокучавы, А.С. Васильева, М.Б. Гордона, А.И. Грабченко, И.П. Захаренко, А.Н. Короткова, С.Н. Корчака, Т.Н. Лоладзе, Г.Б. Лурье, Л.Л. Мишнаевского, А.А. Панова, С.И. Петрушина, В.Н. Подураева, Ю.В. Полянскова, С.А. Попова, А.И. Промптова, Х.М. Рахминова, С.Г. Редько, А.Н. Резникова, В.В. Рыжова, Ф.М. Седыкина, М.Ф. Семко, А.Г. Сулова, И.Х. Чеповецкого, А.В. Якимова, А.С. Ямникова, П.И. Ящерицина и др. Вопросам обеспечения работоспособности алмазных кругов, а также исследованию контактного взаимодействия посвящены работы ученых: С.Н. Корчака, Е.П. Мельниковой, А.Ю. Попова, Ю.М. Правикова, А.В. Репко, А.Н. Унянина, Л.В. Худобина, С.С. Черепанова, В.С. Шоркина, А.С. Янюшкина, а также ряда зарубежных ученых: J. Badger, Guo Changsheng, P. Chevrier, R.S. Hahn, M. Hitchiner, I. Inasaki, R.I. King, I.D. Marinescu, S. Murphy, G.E. O'Donnell, P. Padilla, W.B. Rowe, O. Sinot, M. Stephen, Taghi Tawakoli, E. Uhlmann и др.

Проблемам физики и материаловедения синтетических алмазов посвящены исследования: Г.Н. Безрукова, Г.П. Богатыревой, Г.Б.

Бокия, В.Г. Винса, Ю.А. Ключева, В.А. Надолинного, А.М. Налетова, В.И. Непша, Н.В. Новикова, В.А. Петровского, Д.В. Сивухина, Е.В. Соболева, Н.А. Солоповой, А.Е. Сухарева, А.И. Чепурова, А.А. Ширяева, а также ряда зарубежных ученых: С.Р. Miranda, J. Bruley, W. Kaiser, W.L. Bond, J.H. Chen, P.B. Hirsch, P. Pirouz, J.C. Bary. Все авторы единодушны во мнении, что наличие различного вида дефектов в алмазах оказывает сильное влияние на их физические свойства (механические, магнитные, электрические и пр.) и влияет на их термпрочность.

Известно, что в процессе комбинированного электроалмазного шлифования на сам шлифовальный инструмент оказывается внешнее воздействие, состоящее из давления в зоне резания, температуры, процессов окисления, влияния электрического тока, электроэрозионных процессов и пр. Соответственно и поведение алмаза, находящегося в шлифовальном инструменте, будет зависеть от характера этого воздействия.

Тема 1.1 Методика исследования (Лекция-дискуссия – 1 час.)

В экспериментах применялся алмазный чашечный круг на металлической связке: АС6 80/63 М1 100%, D = 125 мм, b = 15 мм, где АС6 – шлифпорошок из синтетических монокристаллических алмазов повышенной прочности. С помощью растровой электронной микроскопии исследовался образец поверхности алмазного шлифовального круга после операции шлифования быстрорежущей стали Р6М5. Обработка осуществлялась всухую, с целью засаливания поверхности круга.

Для получения фотографий синтетических алмазов, не участвовавших в процессе резания, а, следовательно, находящихся внутри металлической связки шлифовального круга, использовался растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50. Образцы с алмазоносным слоем разламывались и изучалась поверхность такого разлома. Подобный подход позволяет также с высокой точностью определить и толщину засаленного слоя, включая, при необходимости, химический анализ её состава встроенным химическим анализатором EDS X-Act (Oxford Instruments)

Для решения актуальной задачи причин образования засаленного слоя, для предсказательного моделирования в области материаловедения [16] при разработке новых конструкционных и функциональных наноматериалов, была осуществлена визуализация ювенильных поверхностей на атомном уровне. Это нашло отражение в компьютерной 3D-графике и видео, демонстрируя возможности атомистического моделирования статической структуры материалов, а также моделирования процесса их резания.

Таким образом, эксперименты были разбиты на две части: в первой части получались изображения разрушенных (или дефектных) алмазных зерен на поверхности алмазного шлифовального круга, во второй части эти разрушения (или дефекты) моделировались на атомном уровне и визуализировались.

Тема 1.2 Атомистическое моделирование (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

Традиционное математическое описание не обладает достаточной наглядностью для демонстрации трудных для понимания аспектов атомистической трибологии резания металлов, где одновременно протекают разные по своей физической природе процессы. Единственным способом восполнить этот пробел является молекулярно-динамическое (МД) моделирование. В этой части работы использовались методы молекулярной динамики для визуализации динамических, скоростных изменений, происходящих при шлифовании, где преобладают процессы невозможные для непосредственного наблюдения никакими иными инструментальными средствами. Для визуализации поверхностей, в отличие от их молекулярного моделирования, достаточно подобрать масштаб таким образом, чтобы визуальная картина отличалась наибольшей наглядностью тех изменений, которые происходят в атомной структуре во время резания. Было определено, что наиболее просто (с точки зрения математического аппарата) реализовать визуализацию ювенильных поверхностей по атомам, когда профили обрабатываемой поверхности и алмазного зерна задаются в виде блока атомов с соответствующей кристаллической решёткой. В этом случае поверхность представляется как плоскость, состоящая из элементарных блоков (кластеров) кристаллических решёток.

Была создана адекватная, динамичная (т.е. в движении) 3D-модель царапания алмазным зерном поверхности быстрорежущей стали, основанная на ранее выполненных фундаментальных и прикладных исследованиях. Для проверки адекватности моделирования проводилось сравнение профилей, полученных после электроалмазной обработки и МД-моделирования. Сравнение показало достаточно хорошее совпадение параметров поверхностей.

Тема 1.3 Анализ дефектов алмаза (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

При исследовании процесса шлифования, моделировании его закономерностей, необходимо учитывать воздействие точечных и объемных дефектов внутри зерна алмаза, потому что именно они ответственны за их разрушение и износ. Так, расчетная прочность алмаза с "идеальной" кристаллической структурой достигает 10000 Н/мм², но, как показывает практика, прочность реального алмаза в 100...1000 раз меньше.

При анализе полученных при помощи растровой электронной микроскопии изображений видно (рис. 1), что даже на поверхности не участвовавших в процессе резания алмазных зерен (рис. 1, а), а также на их гранях, присутствуют характерные следы нарушения кристаллической структуры на микро и на макроуровнях. Это свидетельствует о том, что алмазными зернами дефекты приобретаются во время их синтеза и последующего отжига, о чем неоднократно упоминал ряд авторов. Эти дефекты, при совокупном воздействии высокой температуры и увеличении сил резания при шлифовании, взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью на атомном уровне.

Однако не смотря на сами дефекты, большинство алмазных зерен шлифовального круга во время шлифования всё-таки сохраняют свою форму и целостность, пусть она и несет на себе следы "неидеальной", синтетической природы. В то же время, существование в зернах разнообразных точечных (рис. 2, а, б) и объемных (рис. 2, в, г) дефектов, а, как правило, их совокупности (рис. 1, в) и является причиной определенного характера их разрушения при шлифовании.

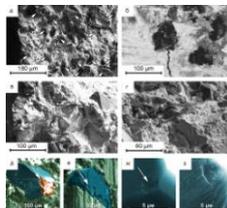


Рис. 1. Внешние картины алмазных зерен в связке шлифовального круга:

а – зерна, с нарушениями кристаллической структуры (показаны стрелками); б – зерно, находящееся в засаленном слое и треснувшее вместе с ним, в результате внутреннего дефекта; в – зерна в разломе связки со следами объемных микродефектов; г – отдельное зерно в разломе связки со следами пластинчатых дефектов кристаллической решетки; д – объемное разрушение вершины алмаза в виде макроскола; е – износ режущей поверхности алмаза по микрослоям роста, которые находятся в диапазоне 0,2÷4 мкм; ж – объемное разрушение вершины алмаза в виде микроскола; з – износ режущей поверхности алмаза по нанослоям роста, которые находятся в диапазоне 10÷300 нм

Так, объемное разрушение вершины зерна алмаза по расположенным на его поверхности микротрещинам может происходить в виде макроскола (рис. 1, г, д) и микроскола (рис. 1, ж). Это объясняется тем, что зерно синтетического алмаза, вырастая, формируется из ступеней роста (рис. 1, з), поэтому при шлифовании происходит разрушение поверхности алмаза по его:

- макрослоям, которые находятся в размерном диапазоне от 10 до 300 нм (рис. 1, г, з; рис. 2, г);
- микрослоям, в диапазоне от 0,2 до 4 мкм (рис. 1, е).

Как правило, микро и макрослои представляют собой блоки кристаллической решетки, между которыми могут располагаться как обычные трещины, так и трещины, заполненные металлическими включениями, что было также учтено при моделировании дефектов на поверхности алмазных зерен (рис. 2, д, е).

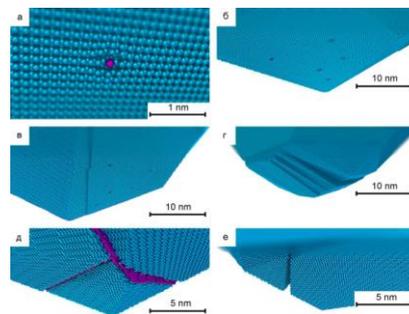


Рис. 2. Компьютерная визуализация точечных и объемных дефектов на поверхности алмазных зерен:

а – точечный дефект в кристаллической структуре зерна; б – множество точечных дефектов на поверхности зерна; в – совокупность пластинчатых (объемных) и точечных дефектов; г – ступени роста; д – трещина в зерне, содержащая внутрикристаллические металлические включения сплава-растворителя; е – трещина в зерне

Следует отметить, что визуализация статической модели алмазного зерна (рис. 2) содержит более 850 тысяч атомов. Этого количества достаточно для того, чтобы в дальнейшем, при моделировании процесса резания (шлифования), увеличить глубину проникновения модели алмазного зерна в модель обрабатываемой поверхности. Такой подход позволит на атомном уровне показать, где именно на алмазоносной поверхности начинает образовываться засаленный слой и почему.

Таким образом, комплексное исследование состояния поверхности шлифовального круга показало, что вне зависимости от условий обработки, в связке круга одновременно наблюдаются алмазные зерна с разными видами разрушения и износа. Очевидно, это объясняется тем, что дефекты создают в зернах неравномерные напряжения. В процессе шлифования возникает деформация, вызывающая сближение точечных дефектов, а частицы сошлифованного материала, попадая в микротрещины и провоцируя образование засаленного слоя, расширяют их, вызывая тот или иной вид разрушения и износа.

Выводы

1. Разрушение алмазного зерна происходит, как правило, по объемным дефектам, имеющих протяженность от нанометров до нескольких микрометров и представляющих собой блоки кристаллической решетки, между которыми располагаются как обычные трещины, так и трещины, заполненные металлическими включениями.
2. Разрушение алмазного зерна при шлифовании происходит в результате взаимодействия на атомном уровне процесса образования засаленного слоя с дефектами в алмазных зернах.

Раздел 2. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами

Дефекты, возникающие в кристаллах алмаза при их синтезе, дают начало к образованию более сложных дефектов, возникающих уже в процессе эксплуатации самих алмазов. При внешнем воздействии эти дефекты оказывают мгноvenное и сильное влияние на эксплуатационные характеристики приборов, изделий или инструментов, содержащих алмазы. В особенности это проявляется при шлифовании вязких, пластичных материалов на основе алюминия, магния или титана. Разработанный на базе современных цифровых технологий и молекулярной динамики метод визуализации, позволяет наглядно показать эти дефекты на атомном уровне.

Основным параметром, определяющим количественные, качественные и стоимостные характеристики современных технических проектов является возможность проведения виртуального эксперимента. Это значительно дешевле, безопаснее и эффективнее физического эксперимента. И, если в стремительно развивающейся индустрии быстрого прототипирования (RP) одним из ключевых критериев является возможность визуализации модели в материале, то в моделировании методами молекулярной динамики (МД) критерием становится возможность визуализации атомного строения материала в модели. Если RP-модели предоставляют возможность проведения особых экспериментов, которые в реальном мире провести затруднительно, то МД-модели дают возможность проведения экспериментов над атомной структурой создаваемого материала.

На сегодня авиационная промышленность, наравне с машиностроением, являются наиболее высокотехнологичными секторами, которые генерируют создание передовой наукоемкой продукции. Современный переход российской промышленности на качественно новый научно-технический уровень, к производственным технологиям нового поколения невозможен без тесной интеграции одновременно нескольких областей знаний. Ключевое значение играет разработка и широкое применение материалов с улучшенными служебными характеристиками, созданных на базе фундаментальных и прикладных исследований в таких областях, как материаловедение, физика твердого тела, молекулярное моделирование, компьютерные и цифровые технологии. Например, ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ ежегодно разрабатывает более 40 новых марок материалов, часть изделий из которых, согласно технологическому процессу, может подвергаться последующей механической обработке.

В последние годы очевидна тенденция на стабильное увеличение интереса производства к алмазным шлифовальным кругам. С их помощью обрабатываются многие ответственные детали при производстве двигателей, крыльев и т.п. Подобная популярность может быть связана с тем, что инструмент из синтетического алмаза постепенно "завоевал" металлообрабатывающую отрасль промышленности, которая по достоинству оценила его уникальные возможности и теперь охотнее создает некоторые специфические условия для его эффективной работы.

Несмотря на свои прочностные характеристики, высокотехнологичный алмазный инструмент склонен терять в процессе шлифования режущие свойства путем изнашивания алмазных кристаллов или их адгезионного засаливания (ГОСТ 21445-84). Интенсивность этих процессов, а также создаваемые ими силы резания и трение могут быть так велики, что засаленный круг способен остановить вращающийся шпиндель шлифовального станка. Поэтому изучение процессов, протекающих в зоне контакта, описание причин потери работоспособности шлифовальных кругов с использованием компьютерных методов моделирования структуры и свойств материалов при их резании и предопределяет актуальность данной работы.

Засаленный слой на поверхности алмазного шлифовального круга образуется в несколько, различных по своей природе этапов, протекание которых подтверждается современными научными представлениями об адгезии. В каждом отдельном случае, при обработке различных материалов, шлифовании различными абразивами, могут преобладать различные механизмы адгезии, справедливые для конкретных термодинамических, фазовых и кинетических характеристик процесса. Раскрыть его суть возможно только при комплексном исследовании в области материаловедения, технологии машиностроения, химии и физики твердого тела, путем атомной визуализации ювенильных поверхностей. Для этого необходимо учитывать специфику синтеза искусственных алмазов, которая предыдущими исследователями практически не учитывалась. Однако, как будет показано ниже, крайне важно знать, какие алмазные кристаллы, с какими внутренними и поверхностными дефектами идут на изготовление современного шлифовального инструмента.

В настоящее время в абразивном инструменте используются кристаллы "металл-синтетического" алмаза, которые образуются при высоких давлениях и температурах в металлических расплавах с растворенным в них углеродом. Это связано с тем, что ростовая среда на основе металлов катализаторов, например, таких как никель, хром или кобальт, хорошо растворяет графит. В момент своего роста, в кристаллы алмаза, в виде включений и примесей, проникают все побочные фазы, которые находятся в реакционной камере. Последующее воздействие на кристаллы может минимизировать некоторые дефекты алмаза и заключается в различных видах радиационного воздействия, различных вариантов высокотемпературного отжига, а также сочетании различных комбинаций на их основе.

Таким образом, после синтеза, практически каждый алмаз имеет наноразмерные несовершенства структуры и различные дефекты. Все авторы, чьи исследования посвящены проблемам физики и материаловедения синтетических алмазов единодушны во мнении, что наличие дефектов в алмазах оказывает сильное влияние на их физические свойства (механические, магнитные, электрические и пр.) и

особенно влияет на их прочность, а точнее на термочувствительность после синтеза.

Поскольку свойства алмаза определяются этими дефектами, то от них напрямую зависят эксплуатационные характеристики алмазного инструмента (или приборов и изделий), содержащих алмазы. Так, в процессе шлифования инструмент испытывает какое-либо внешнее воздействие (давление, температуру, окисление, влияние электрического тока и пр.) и поведение алмаза, находящегося в инструменте, также зависит от характера этого воздействия. Соответственно, моделирование процессов резания с учетом основных дефектов, встречающихся в синтетическом алмазе, будет более точным, как с точки зрения фундаментальной науки, так и компьютерного моделирования объектов физики твердого тела (рис. 3).

Тема 2.1 Воздействие точечных дефектов (микродефекты) (Лекция-дискуссия – 1 час.)

Основной примесью алмаза в кристаллической решетке является азот, который дает начало к образованию большого количества точечных дефектов. Так, одиночные вакансионные дефекты (рис.3, а), одиночные замещенные и межузельные атомы (рис.3, б), при высокой температуре шлифования могут переходить в многовакансионные кластеры. Поскольку замещенные атомы принадлежат другому химическому элементу и имеют другой диаметр, то эти переходы расширяют или сжимают кристаллическую решетку, накапливая в ней запасенную энергию, которая, высвобождаясь при шлифовании, может привести к образованию в кристалле алмаза трещин, а, значит, к снижению его прочностных характеристик.

Тема 2.2 Воздействие объемных дефектов (макродефекты) (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

За адгезию сошлифованного материала к связке шлифовального круга, т.е. за сам факт засаливания, в большей степени отвечают дефекты, связанные с несовершенствами поверхности кристалла алмаза. Как правило, они представляют собой блоки кристаллической решетки (рис. 3, г), между которыми могут располагаться как обычные трещины (рис. 3, д), так и трещины, заполненные металлическими включениями (рис. 3, е). Трещины с металлическими включениями могут располагаться как на поверхности кристалла, так и внутри его, имея протяженность от нанометров до нескольких микрометров. Эти дефекты, при совокупном воздействии высокой температуры и увеличении сил резания, взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью на атомном уровне. Так, например, диффузия атомов углерода из обрабатываемой поверхности в кристалл алмаза наблюдается при температуре более 700°C, а диффузия углерода из кристалла алмаза в обрабатываемую поверхность происходит при температуре более 800°C.

Чем больше металлических включений, тем выше скорость окисления алмазных кристаллов. В условиях электроалмазного шлифования они могут взаимодействовать с электролитом, снижая, таким образом, режущие свойства алмазного шлифовального круга.

Поскольку точечные дефекты дают начало к образованию объемных, то в кристалле алмаза одновременно располагаются как пластинчатые (рис. 3, ж), так и плоскостные дефекты (рис. 3, з, и). Они, как и точечные, также могут располагаться на поверхности кристалла и внутри его, поэтому от внешнего воздействия сил резания, тепловых процессов, напрямую зависит характер разрушения алмазного кристалла. Пластинчатые дефекты –platelets (рис. 3, ж), формируются из межузельных атомов углерода с примесью азота. Наноразмерные субмикроразрывы – voidites, могут иметь протяженность от одного нанометра (рис. 3, з) до нескольких микрометров (рис. 3, и) и располагаться между зернами той же ориентации, на их границах или вдоль линий дислокаций.

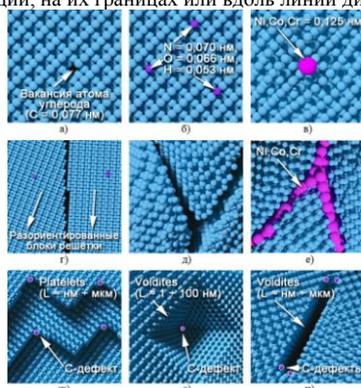


Рис. 3. Моделируемые дефекты синтетического алмаза, с учетом внутренней морфологии кристалла. Точечные дефекты (микродефекты): а) вакансии; б) замещенные атомы (С-дефект); в) межузельные атомы; г) дислокации. Объемные дефекты (макродефекты): д) трещины между блоками; е) металлические включения; ж) пластинчатые дефекты, т.н. Platelets; з) субмикроразрывы в форме октаэдра, т.н. Voidites; и) плоскостные субмикроразрывы

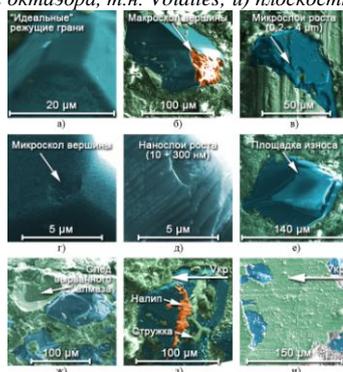


Рис. 4. Кристаллы алмаза с характерными для шлифования видами износа (разрушения режущих граней): а) режущая грань алмаза до шлифования; б) объемное разрушение вершины алмаза в виде макроскола; в) износ режущей поверхности алмаза по микрослоям роста; г) объемное разрушение вершины алмаза в виде микроскола; д) износ режущей поверхности алмаза по нанослоям роста; е) истирание режущей поверхности алмаза с образованием гладкой площадки износа; ж) вырывание алмаза из связки шлифовального круга; з) образование налета на режущей грани алмаза; и) алмазы, полностью покрытые засаленным слоем

Тема 2.3 Воздействие точечных и объемных дефектов на износ алмазов (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

При шлифовании большинство кристаллов алмаза шлифовального круга сохраняют свою форму и целостность (рис. 4, а). Однако существование в них точечных и объемных дефектов является причиной определенного характера их износа. Так, объемное разрушение вершины алмаза происходит в виде макроскола (рис. 4, б) или микроскола (рис. 4, г), по расположенным на поверхности кристалла микротрещинам. Следует отметить, что кристалл алмаза состоит из нанослоев (т.н. ступеней роста), имеющих размерность от 10 до 300 нм (рис. 4, д). Из этих нанослоев формируются последующие микрослои, которые имеют размерность от 0,2 до 4 мкм (рис. 4, в). Что характерно, подобное разрушение износа на микро- и макроуровни, наблюдается при разрушении тех режущих поверхностей или граней алмаза, которые входят в непосредственный контакт с обрабатываемой поверхностью.

Считается, что в зависимости от режимов обработки, физико-химических свойств обрабатываемого материала, характер износа алмазов подразделяется на абразивный (рис. 4, ж), адгезионный (рис. 4, з), диффузионный и тепловой (рис. 4, е). Однако комплексное исследование состояния поверхности шлифовального круга показало, что вне зависимости от условий обработки, на одном уровне над связкой круга могут одновременно наблюдаться кристаллы со всеми видами износа (рис. 4, и). Очевидно, это объясняется тем, что дефекты создают в кристаллах неравномерные напряжения. В процессе шлифования возникает деформация, вызывающая сближение точечных С-дефектов, а частицы сошлифованного материала, попадая в микротрещины, расширяют их, провоцируя тот или иной вид износа.

Исходя из вышесказанного, большинство дефектов в алмазе берет свое начало от наличия в своей кристаллической решетке всего лишь одного постороннего атома (N, H, O, Ni, Cr, Co и др.), либо отсутствия одного атома углерода и развиваются затем под воздействием высоких температур и давления в зоне резания. Вероятно, синтез бездефектных алмазов может быть одним из перспективных путей предотвращения процесса засаливания алмазных шлифовальных кругов на металлической связке. Однако, пока исследования в этом направлении продолжаются, уже сегодня возможно существенно минимизировать негативное влияние засаленного слоя путем:

- образования на поверхности круга защитных пленок;
- замены стандартных электролитов на альтернативные смазывающе-охлаждающие жидкости;
- разработки и внедрения в эксплуатацию новых прогрессивных конструкций шлифовальных кругов;
- активной правки шлифовального круга во время шлифования по технологии комбинированной электроалмазной обработки;
- комбинированного сочетания вышеупомянутых методов.

Выводы

1. Наличие различного вида дефектов в алмазах оказывает сильное влияние на их физические свойства, а через них на эксплуатационные характеристики абразивного инструмента, что, в свою очередь отражается на качестве обрабатываемой поверхности.

2. Трещины, образуемые после синтеза на поверхности кристалла или внутри его, как и трещины, заполненные металлическими включениями, дают начало адгезионно-диффузионному засорению абразивного слоя шлифовального инструмента элементами обрабатываемого материала.

3. Современные аддитивные технологии предоставляют конструкторам новые технологические решения и возможности при моделировании материалов методами молекулярной динамики.

Раздел 3. Об актуальности прогрессивных методов обработки

Тема 3.1 Краткий анализ ключевых слов из группы Инструментальные материалы (Лекция-дискуссия – 1 час.)

Из графика видно (рис. 5), что интерес русскоязычного пользователя к теме наноматериалов стал повышаться после апреля 2007 года, когда президент России Владимир Путин в послании Федеральному Собранию упомянул нанотехнологии "*наиболее приоритетным направлением развития науки и техники*". Это перекрёстно подтверждается апрельским пиком 2007 года, представленным на рис. 7. Последующие пики, приходящиеся на декабрь, вобрали в себя ещё и проявленный интерес к проводимому в Москве Международному форуму по нанотехнологиям *Rusnanotech*, организованного в декабре 2008 года и впоследствии ставшего было ежегодным. Считаем, что "львиная доля" поисковых запросов в этой области принадлежит ещё и работе журналистов, так или иначе освещающих разработку наноматериалов в средствах массовой информации. В последствии, как видно из графиков, популярность этих ключевых слов снижается, на фоне растущего интереса к традиционным и уже зарекомендовавшим себя в производстве материалам.

Тема 3.2 Краткий анализ ключевых слов из группы Инструменты (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

Из графика видно (рис. 6), что интерес русскоязычного пользователя к теме металлорежущего инструмента стабилен. Как и к шлифовальному инструменту из электрокорунда и кубического нитрида бора. Популярность инструмента из карбида кремния зелёного несущественна и не нашла графического отображения, в отличие от зарубежного потребителя. В последние годы очевидна тенденция на стабильное увеличение интереса к алмазным кругам. Это может быть связано с тем, что инструмент из синтетического алмаза постепенно "завоевал" металлообрабатывающую отрасль промышленности, которая по достоинству оценила его уникальные возможности и охотнее идёт на то, чтобы создавать некоторые специфические условия для его эффективной работы. Написание словосочетания *Алмазный круг* с поисковым оператором - *отрезной* позволило отсеять запросы, связанные, в основном, со строительными отрезными кругами.

Тема 3.3 Краткий анализ ключевых слов из группы Технологии (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

Так как от металлообрабатывающей промышленности постоянно требуется всё большая точность изготовления деталей и целостность их поверхности, то и популярность технологий их изготовления вполне очевидна. Упомянутая выше популярность темы нанотехнологий у русскоязычного пользователя (рис. 7) держалась более трёх лет (с апреля 2007 г. по апрель 2010 г.), после чего практически сравнялась с темами прогрессивных методов обработки, но по количеству поисковых запросов однозначно превосходит их.

Остановимся на основных признаках, отличающих поисковые запросы обычного человека от запросов учёного и исследователя. В левой части рисунка 8 указаны популярность и похожие поисковые запросы простых пользователей, в правой – научных исследований. Из динамики популярности ключевого слова *Electrochemistry* видна тенденция на снижение интереса к этой теме у всех категорий пользователей. Осуществляя поиск по электрохимии, потребитель чаще всего интересуется, что это такое и какие книги по данной теме можно скачать. Научный интерес сконцентрирован вокруг электрохимических ячеек и их реакций, описания химических процессов в научных периодических изданиях. Весьма заметно смещение значительной доли всех научных исследований в первую очередь в азиатский регион – Ближний Восток и Восточную Азию, затем в развивающиеся страны Африки и Южной Америки. Кстати, аналогичные процессы происходят у них сейчас практически во всех сферах жизни. Именно об этом в своей статье предупреждает Сергей Викторович Лавров – министр иностранных дел Российской Федерации: "*Нельзя не принимать в расчёт мощные процессы, которые происходят в Азиатско-Тихоокеанском регионе, на Ближнем и Среднем Востоке, в Африке, в Латинской Америке*".

Выводы

1. Растущая доступность сервисов по предоставлению пользователям статистических данных, позволяет на основе отслеживания основных тенденций, в режиме реального времени проводить глубокий анализ популярности любого научного исследования. Несомненным преимуществом такого подхода является высокая наглядность динамики интереса, проявляемого к предмету исследования пользователями. Удобство такого подхода заключается в широком диапазоне ограничивающих поисковых категорий, отсекающих ненужную информацию с потребительским содержанием, не имеющую отношения к предмету научного поиска.

2. Решающее значение для оптимального поиска имеет правильный набор ключевых слов как на русском, так и на английском языках. Следует отдавать предпочтение тем словам и словосочетаниям, которые наиболее популярны в рамках определённого научного направления. Это позволит другим исследователям быстрее найти именно этот материал и, при необходимости, процитировать его в своих работах.

3. Являясь семантическим ядром любой научной работы, анализ поисковых запросов ключевых слов позволяет в режиме реального времени отслеживать популярность предмета исследования по активности интернет-аудитории. С высокой степенью вероятности можно определить, для какой категории пользователей эта информация актуальна и с какой целью они проявляют к ней интерес. Следует помнить, что на некоторую информацию, по определённым причинам, невозможно "выйти" напрямую, поэтому судить о ней можно лишь косвенно, по отдельным признакам, тщательно отобранному заранее.

4. Зная время, место и причину повышения популярности предмета исследования можно эффективно провести анализ и поиск новых рынков сбыта научной продукции, например, осуществить внедрение в производство, заключить новые договора о совместном сотрудничестве и т.п. Такой подход позволит поднять научную работу на более качественный уровень и ускорит получение конечного результата.

5. Использование Google Trends и Google AdWords может способствовать как созданию новых, так и дополнять уже существующие научные исследования, т.к. эти поисковые инструменты обеспечивают широкий круг учёных актуальными современными данными, реальная статистика которых, как правило, упускается из виду.

Раздел 4. Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами

Засаленный слой образуется в несколько, различных по своей природе этапов, вероятность протекания которых подтверждается современными научными представлениями об адгезии. В каждом отдельном случае, при обработке разных материалов, шлифовании разными абразивами, могут преобладать различные механизмы адгезии, справедливые только для конкретных термодинамических, фазовых и кинетических характеристик процесса (рис.9).

Тема 4.1. Механическая адгезия (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

В самом начале процесса шлифования, когда абразивные зёрна только начинают царапать обрабатываемый материал, происходит механическое адгезионное зацепление срезаемой стружки среди зёрен и связи абразивного инструмента. Механическая пластическая деформация производит сжимающие поверхностные остаточные напряжения. Это тот распространённый случай, когда говорят, что "материал налипает на абразивные зёрна и заполняет собой поры шлифовального круга". Действительно, механическая адгезия происходит при обработке мягких пластичных материалов, металлов устойчивых к окислению, в том числе некоторых нержавеющей сталей, сплавов на основе алюминия, магния, никеля и титана. А также хрупких и твёрдых материалов, обладающих высокой чувствительностью к образованию трещин.

Здесь препятствовать процессу засаливания достаточно просто – увеличением скорости подачи СОЖ или уменьшением глубины резания. Кроме того, правильный выбор технических характеристик шлифовального инструмента уже является гарантией не только минимизации засаливания, но и сохранения его высоких режущих способностей.

В результате периодического отрыва налипающего материала характерный притирочный износ абразивных зёрен заключается в локализованном микроразрушении режущих кромок зёрен и их выкрашивании. Как правило, от резания пластичных материалов абразивное зерно больше засаливается, а от хрупких – больше истирается, вплоть до уровня связи.

На обрабатываемом материале механическая адгезия сказывается в виде негативных изменений в поверхностном слое, являющихся следствием возросших сил резания. Растёт риск получения термических повреждений поверхности.

Тема 4.2. Адсорбционная или молекулярная адгезия (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

Накопление стружки приводит к её уплотнению среди зёрен и в связке абразивного инструмента, что приводит к увеличению давления, которое способствует распространению адсорбции одновременно по всей активной поверхности, что, в свою очередь, сопровождается выделением теплоты адсорбции. Тепловая пластическая деформация генерирует растягивающие поверхностные остаточные напряжения. Это создаёт благоприятную возможность для возникновения физической адсорбции в трещинах пластически деформируемой массы стружки.

Известно, что в кислородной и водной среде процессы молекулярной адгезии развиваются наиболее стремительно, поэтому компенсировать их можно использованием эмульсий или масел, созданием инертной атмосферы, либо путём добавления в СОЖ специальных активных добавок. Эти методы особенно актуальны, если шлифование осуществляется кубическим нитридом бора или алмазом. На этом этапе засаливания большинство справочной литературы рекомендует сменить алмазный абразив на эльбор, на карбид кремния или на более пористый абразивный инструмент. Молекулярная адгезия происходит в основном при обработке каких материалов?

На поверхности абразивных зёрен продолжают разрастаться площадки износа, которые берут своё начало с механической адгезии. Постоянное трение дополнительно способствует окислению зёрен кислородом воздуха, микроразрушение режущих кромок зёрен сменяется более объёмными сколами.

Одновременное увеличение сил резания, мощности и температуры в зоне контакта приводит к появлению прижогов на обрабатываемой поверхности, начинается рост карбидных зёрен, увеличивается шероховатость обработанной поверхности

Тема 4.3. Химическая адгезия (Лекция-дискуссия – 1,5 час.)

Дальнейшее увеличение давления и температуры в результате значительного увеличения площади контакта является причиной формирования межфазного контакта. Фазовые превращения могут привести либо к сжимающим, либо к растягивающим поверхностным остаточным напряжениям, в зависимости от увеличения или уменьшения объёма преобразованного материала фазы. К этому времени обе поверхности – обрабатываемая и засаленная, уже должны быть идеально чистыми, т.е. постоянно уничтожаемые трущимися поверхностями оксидные плёнки более не препятствуют контакту между атомами металлов. Возникают термодинамические предпосылки для Ван-дер-ваальсового взаимодействия – присоединения химической связи. Это наиболее гарантировано для тех случаев, когда материал абразивного зерна и обрабатываемый материал имеют химическое сходство. Именно по этой причине алмазный абразив считается неподходящим для обработки сплавов, содержащих вольфрам, кобальт, никель и ванадий, которые при увеличении температуры шлифования смогут легко образовать карбиды с углеродом из алмаза. Поэтому химическая адгезия происходит при обработке инструментальных, железоуглеродистых, закалённых сталей.

С момента своего образования химическое адгезионное соединение способно сохранять целостность и высокие механические свойства не смотря на внешнее воздействие или воздействие каких-либо агрессивных сред. С этого момента активно (т.е. в процессе самого шлифования) разрушить созданную связь обычными методами становится невозможно. Единственным путём удаления засаленного слоя является механический разрыв химических связей разнообразными методами правки абразивного инструмента, либо комбинированные методы обработки.

В результате действия химической адгезии износ шлифовального круга увеличивается ещё больше, т.к. из связки начинают вырываться уже целые абразивные зёрна. В обрабатываемом материале происходят необратимые структурные изменения, забраковывая шлифуемое изделие.

Именно такой адгезией покрывается алмазное зерно перед занесением в связку круга

Алмазные и СВН круга не очень хорошо придерживаться смолы или металлической связью. Таким образом, используется покрытие.

Тема 4.4. Электрическая адгезия (Лекция-дискуссия – 0,5 час.)

В этих условиях шлифования, в обрабатываемой поверхности и в засаленном слое происходит одновременная пластическая деформация, сочетающая в себе все три типа: механическую, термическую и фазовую. Однако если шлифование осуществляется комбинированными методами обработки, с дополнительным введением в зону обработки электрического тока, то засаливание всей поверхности круга может происходить из-за сварки сошлифованной стружки под давлением к абразивным зёрнам.

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1, 2.	Исследование количественных параметров комбинированной электроалмазной обработки	26	-
2	3, 4.	Исследование качественных параметров комбинированной электроалмазной обработки	25	-
ИТОГО			51	-

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1, 2.	Исследование удельного расхода алмазных кругов после комбинированной электроалмазной обработки	8	-
2	3, 4.	Исследование шероховатости поверхности инструментальной стали после комбинированной электроалмазной обработки	9	-
ИТОГО			17	-

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
			<i>4</i>	<i>16</i>				
1. Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами		38	+	+	2	19	Лк, ЛР, ПЗ, СР	Экзамен
2. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами		38	+	+	2	19	Лк, ЛР, ПЗ, СР	Экзамен
3. Об актуальности прогрессивных методов обработки		37	+	+	2	18,5	Лк, ЛР, ПЗ, СР	Экзамен
4. Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами		40	+	+	2	20	Лк, ЛР, ПЗ, СР	Экзамен
<i>всего часов</i>		153	76,5	76,5	2	76,5	-	-

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Комбинированная электроалмазная обработка инструментальных сталей: монография / А.С. Янюшкин, Е.В. Васильев, А.Ю. Попов; под ред. А.С. Янюшкина. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. – 228 с.
2. Архипов, П.В. Технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков. – Братск: БрГУ, 2016. – 202 с.
3. Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки: научное издание / Ф.В. Гречников и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Кол. экз. в библ., шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
Основная литература				
1.	Железнов, Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.	Лк, ЛР, ПЗ, СР	10	0,5
2.	Архипов, П.В. Технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков. - Братск: БрГУ, 2016. - 202 с.	Лк, ПЗ, СР	22	1,0
Дополнительная литература				
3.	Комбинированная электроалмазная обработка инструментальных сталей: монография / А.С. Янюшкин, Е.В. Васильев, А.Ю. Попов; под ред. А.С. Янюшкина. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. – 228 с.	Лк, ЛР, СР	30	1
4.	Сафонов, С.О. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов обработки металлов давлением : учебное пособие / С.О. Сафонов, А.С. Янюшкин, Е.Д. Лосев. - Братск: БрГУ, 2007. - 90 с.	Лк, СР	81	1,0
5.	Схиртладзе, А.Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник для вузов / А.Г. Схиртладзе, С.Г. Ярушин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол: ТНТ, 2008. - 524 с.	Лк, СР	19	1,0
6.	Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.	Лк, ЛР, ПЗ, СР	19	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендуемый режим и характер учебной работы по проработке лекционного материала заключается в освоении на практике и совершенствовании прогрессивных методов и технологий обработки металлов, сверхтвёрдых и высокопрочных материалов, а также современных наноматериалов, включая участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с учетом научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в металлообрабатывающей отрасли.

При оформлении отчётов по лабораторным работам следует особое внимание обращать именно на инновационную технологию комбинированной электроалмазной обработки, основанную на электрохимическом, тепловом и механическом воздействии электрического тока на обрабатываемую поверхность.

Желательно обладать навыками применения электрофизических и электрохимических процессов обработки. Следует использовать научные результаты и известные научные методы и способы для решения новых научных и технических проблем, и оптимизации конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных и практических работ

Лабораторная работа №1

Исследование количественных параметров комбинированной электроалмазной обработки

Цель работы

Исследовать количественные параметры КЭАО. Произвести приближённый расчёт технологических характеристик КЭАО. Анализ полученных результатов и их корректировка.

Задание:

1. Ознакомиться с основными понятиями, терминами и определениями КЭАО.
2. Получить математические и эмпирические зависимости от режимов обработки КЭАО:

- удельного съёма металла, Q ;
- глубины дефектного слоя, h ;
- радиальной составляющей силы резания, P_y ;
- режущей способности алмазного шлифовального круга, K ;
- шероховатости обработанной поверхности, R_a ;
- микротвёрдости обработанной поверхности, H ;
- удельного расхода алмазных кругов, q ;
- эффективной мощности резания, $N_{эф}$.

3. Оформить отчёт по лабораторной работе.

Порядок выполнения:

Метод комбинированного электроалмазного шлифования используется кафедрой ТМ БрГУ в производстве длительное время, поэтому нетрудно назвать влияющие на него факторы: плотность тока правки, плотность тока травления, скорость резания, глубина и подача (см. Лабораторную работу №2). Перечисленные факторы в условиях одного и того же аппаратного оформления процесса достаточно полно отражают технологию КЭАО.

В качестве выходных параметров (откликов) процесса измерялись: y_1 – шероховатость поверхности, мкм; y_2 – эффективная мощность резания, Вт; y_3 – радиальная сила, Н/см²; y_4 – удельный расход круга, мм³/мм³; y_5 – коэффициент режущей способности, (мм³/мин)/Н.

Итак, рассматриваемая система состоит из пяти факторов и пяти параметров оптимизации. Эксперимент необходимо организовать таким образом, чтобы иметь возможность получения эмпирического описания процесса, т.е. получения статистической модели, которая, во-первых, позволит установить степень влияния каждого из рассматриваемых факторов на процесс и, во-вторых, станет основой для поиска оптимальных условий обработки. Имеющиеся априорные сведения о процессе позволили выбрать область экспериментирования и интервалы варьирования факторов:

Таблица

Кодирование факторов при исследовании КЭАО

Интервал варьирования и уровень факторов	$i_{пр}$, А/см ²	$i_{тр}$, А/см ²	t , мм/дв.ход	S , м/мин	V , м/с
Нулевой уровень $x_i = 0$	0,249	6,25	0,02	1,5	34
Интервал варьирования δ_i	0,083	3,125	0,01	0,5	17
Нижний уровень $x_i = -1$	0,083	3,125	0,01	0,5	17
Верхний уровень $x_i = +1$	0,332	9,375	0,03	2	51
Кодовое обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5

В соответствии с принятыми в таблице интервалами варьирования факторов был реализован факторный эксперимент типа 2^{5-1} , т.е. полуреплика от полного факторного эксперимента 2^5 .

Однако, проверяя гипотезу линейной аппроксимации, мы убедились в её несостоятельности, и был сделан следующий шаг: достраивание полного факторного эксперимента до плана второго порядка. То есть в качестве ядра был использован ортогональный план первого порядка, на котором затем достраивалась конструкция плана второго порядка.

Таким образом, модель адекватна экспериментальным данным. Все остальные уравнения находились аналогичным образом и после всех необходимых расчётов и преобразований имеют следующий вид:

– **шероховатость обработанной поверхности:**

$$R_a = 0,065 + 4,914 \times 10^{-3} i_{пр} - 0,022 V + 0,085 i_{тр} V + 0,227 t V + 0,784 S V + 0,011 i_{пр}^2 + 0,051 i_{тр}^2 + 8,892 \times 10^{-3} t^2 + 0,019 S^2 + 0,053 V^2.$$

– **эффективная мощность резания:**

$$N_{эф} = 255,447 - 62,343 i_{пр} + 477,207 V - 779,089 i_{тр} V + 2,677 \times 10^{-3} t V + 3,563 \times 10^{-3} S V + 48,226 i_{пр}^2 - 5,838 i_{тр}^2 - 1,667 t^2 + 98,75 S^2 + 402,504 V^2.$$

– **радиальная сила резания:**

$$P_y = 37,966 - 5,729 i_{пр} - 15,032 V - 53,125 i_{тр} V + 93,5 t V + 166,883 S V - 0,764 i_{пр}^2 - 0,125 i_{тр}^2 - 2 t^2 + 1,433 S^2 - 3,679 V^2.$$

– **удельный расход алмазного шлифовального круга:**

$$q = 13,278 + 2,173 i_{пр} - 14,964 V + 12,711 i_{тр} V + 126,676 t V + 213,451 S V + 2,075 i_{пр}^2 + 7,149 i_{тр}^2 + 1,18 t^2 + 4,189 S^2 + 8,915 V^2.$$

– **коэффициент режущей способности круга:**

$$K = 0,511 + 0,125 i_{пр} + 0,25 V + 0,34 i_{тр} V + 2,04 t V + 1,152 S V + 0,044 i_{пр}^2 + 0,082 i_{тр}^2 - 0,038 t^2 - 0,016 S^2 + 0,177 V^2.$$

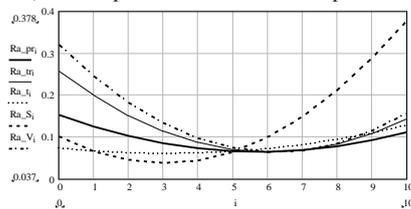
Из вышеперечисленных методик проведения экспериментов видно, что они позволяют в достаточно полной мере провести исследования по интересующей нас теме. Рекомендуемые методы и статистическая обработка позволяют получить достоверные результаты. К их достоинствам, в частности по определению мощности, измерению силы резания, удельному износу алмазных шлифовальных кругов, следует отнести лёгкость их проведения, не громоздкость оборудования и возможность их внедрения в учебный процесс.

Форма отчётности: отчёт по лабораторной работе должен содержать: цель работы и краткие теоретические сведения по использованию КЭАО инструментальных материалов; все характеристики и режимы КЭАО в соответствии с методическими указаниями и примерами решения задач; выводы по каждому расчётному параметру; оформленные общие выводы по работе и предложения по её совершенствованию, список использованных источников.

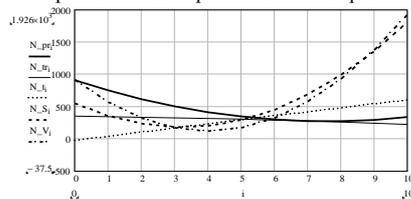
Задания для самостоятельной работы:

Требуется проверить математическую модель и степень её соответствия полученным результатам экспериментальных данных. По построенным предварительно зависимостям, при помощи программы «Mathcad Professional», требуется сформировать обобщённые выводы и найти рациональную область режимов обработки.

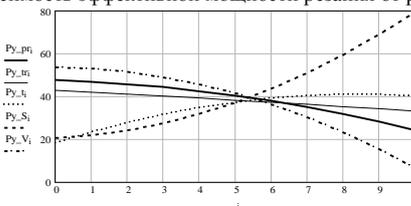
Анализируя полученные статистические и математические данные можно сделать вывод что, математическая модель соответствует полученным результатам экспериментальных данных, а её погрешность находится в пределах от 6,4 до 14,6%.



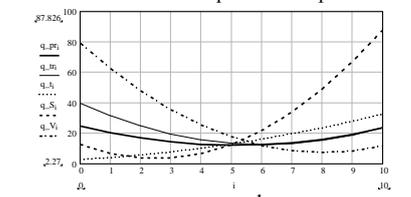
Графическая зависимость шероховатости обработанной поверхности от режимов обработки



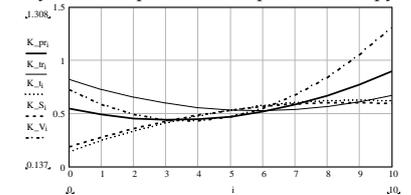
Графическая зависимость эффективной мощности резания от режимов обработки



Графическая зависимость силы резания от режимов обработки



Графическая зависимость удельного расхода шлифовального круга от режимов обработки



Графическая зависимость коэффициента режущей способности от режимов обработки

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

1. ГОСТ 17420-72 ЕСТП. Операции механической обработки резанием. Термины и определения.
2. ГОСТ 25330-82. Обработка электрохимическая. Термины и определения.
3. ГОСТ 25331-82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения.

Основная литература

1. Железнов, Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

Дополнительная литература

2. Архипов, П.В. Технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков. - Братск: БрГУ, 2016. - 202 с.
3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Сущность метода КЭАО.
2. Основные параметры и характеристики КЭАО, влияющие на качество обработки.
3. Основные характеристики источника технологического тока.
4. Различия и общие признаки схем КЭАО.
5. Основные параметры и характеристики токосъёмника.

Лабораторная работа №2

Исследование качественных параметров комбинированной электроалмазной обработки

Цель работы:

Ознакомиться с сущностью комбинированной электроалмазной обработки (КЭАО). Исследовать качественные параметры КЭАО. Анализ полученных результатов и их корректировка

Задание:

1. Ознакомиться с основными понятиями, терминами и схемами КЭАО металлов.
 2. Определить рациональные режимы КЭАО, обеспечивающие самозатачивание алмазных шлифовальных кругов на металлической связке, а также высокое качество обработанной поверхности изделий, минимальный дефектный слой и высокое качество режущего инструмента:

- скорости резания, V ;
- продольной подачи, S ;
- глубины резания, t ;
- плотность тока правки, $i_{пр}$;
- плотность тока травления, $i_{тр}$.

3. Оформить отчёт по лабораторной работе.

Порядок выполнения:

Определить теоретические модели электрических параметров (плотности тока правки, $i_{пр}$ и плотности тока травления, $i_{тр}$), позволяющие рассчитать значения данных параметров, способствующие достижению наилучшего качества обработанной поверхности изделий..

Пример выполнения задания

1. В математической теории эксперимента показано, что ни ортогональность, ни ротатабельность сами по себе не могут служить логически цельными надёжными критериями оптимальности плана. Поиском такого универсального критерия оптимальности планов занимается математическая теория планирования экспериментов.

2. С помощью ортогонального плана второго порядка нам удалось получить адекватную модель процесса. Для определения оптимальных условий протекания исследуемого процесса, полученные уравнения второй степени необходимо исследовать на экстремум. Для этого достаточно было бы привести его к каноническому виду. Однако, в данном случае (пять факторов) переход к каноническому виду становится очень громоздким и трудоёмким, поэтому мы воспользовались ЭВМ.

3. В дальнейших расчётах была использована математическая программа «Mathcad Professional». Все координаты экстремальных точек находились автоматически, после того, как нами были выведены графические зависимости, представленные ниже, которые строились по полученным математическим моделям.

4. Для построения обобщённой зависимости каждого отдельно взятого графика был использован коэффициент: $Ra_{pr} = 0,04$; $Ra_{tr} = 1$; $Ra_t = 0,004$; $Ra_S = 0,3$; $Ra_V = 6$.

5. Координаты экстремальных точек следующие:

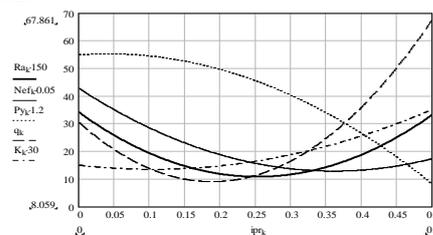
Таблица 2.2

Координаты экстремальных точек									
Ra_{pr}	0,064	N_{pr}	266,87	Py_{pr}	24,12	q_{pr}	11,87	K_{pr}	0,44
Ra_{tr}	0,064	N_{tr}	220,77	Py_{tr}	33,07	q_{tr}	12,44	K_{tr}	0,53
Ra_t	0,059	N_t	-37,5	Py_t	18	q_t	2,27	K_t	0,14
Ra_S	0,037	N_S	174,87	Py_S	20,45	q_S	3,42	K_S	0,18
Ra_V	0,064	N_V	113,27	Py_V	6,3	q_V	7,03	K_V	0,43

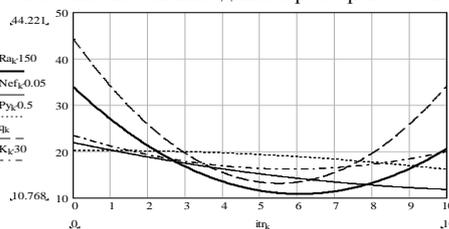
Форма отчётности: отчёт по лабораторной работе должен содержать: цель работы, решаемые в ней задачи, определение по табличным данным основных зависимостей технологических параметров КЭАО, а также изображение схемы обработки, список использованных источников.

Задания для самостоятельной работы:

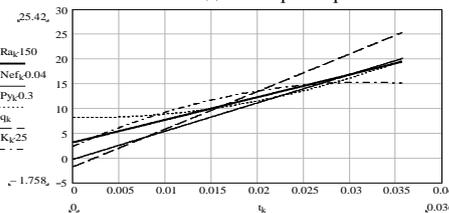
Требуется проверить математическую модель и степень её соответствия полученным результатам экспериментальных данных. По построенным предварительно зависимостям, при помощи программы «Mathcad Professional», требуется сформировать обобщённые выводы и найти рациональную область режимов обработки.



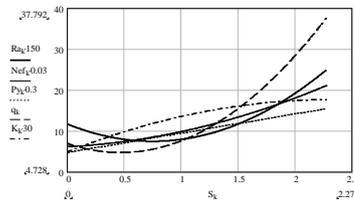
Графическая зависимость выходных параметров от тока правки



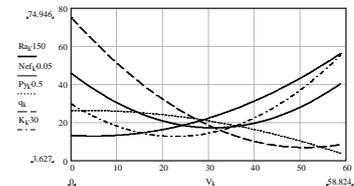
Графическая зависимость выходных параметров от тока травления



Графическая зависимость выходных параметров от глубины резания



Графическая зависимость выходных параметров от продольной подачи



Графическая зависимость выходных параметров от скорости резания

Анализируя полученные статистические и математические данные можно сделать вывод что, математическая модель соответствует полученным результатам экспериментальных данных, а её погрешность находится в пределах от 6,4 до 14,6%.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Лабораторная работа выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

1. ГОСТ 17420-72 ЕСТПП. Операции механической обработки резанием. Термины и определения.
2. ГОСТ 25330-82. Обработка электрохимическая. Термины и определения.
3. ГОСТ 25331-82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения.

Основная литература

1. Железнов, Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

Дополнительная литература

2. Архипов, П.В. Технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков. - Братск: БрГУ, 2016. - 202 с.

3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Сущность метода КЭАО.
2. Современные материалы, обрабатываемые с помощью КЭАО.
3. Шероховатость обработанной поверхности и производительность КЭАО.
4. Дефекты, возникающие при КЭАО.
5. Особенности изготовления катода.

Практическое занятие №1

Исследование удельного расхода алмазных кругов после комбинированной электроалмазной обработки

Цель работы:

Исследовать зависимости удельного расхода алмазных шлифовальных кругов на металлической связке после комбинированной электроалмазной обработки инструментальных сталей. Анализ полученных результатов и их корректировка

Задание:

1. Ознакомиться с основными понятиями, терминами и определениями удельного расхода алмазных шлифовальных кругов.
2. Определить рациональные режимы КЭАО, обеспечивающие самозатачивание алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при обработке инструментальных сталей:

- скорости резания, V ;
- продольной подачи, S ;
- глубины резания, t ;
- плотность тока правки, $i_{пр}$;
- плотность тока травления, $i_{тр}$.

3. Оформить отчёт по практическому занятию.

Порядок выполнения:

Существует две методики определения удельного расхода абразивных кругов.

1. Удельный расход определяется как отношение массы израсходованного абразива Q_a к массе сошлифованного материала $Q_{мат}$:

$$q = Q_{ал} / Q_{мат} \text{ [мг/г]}$$

В частности, для алмазных кругов масса алмазов, затрачиваемых на шлифование, определяется следующим образом:

$$Q_{ал} = V_{a,c} \times 0,878 \text{ [г]}$$

где: $V_{a,c}$ – объём затраченного абразивного слоя, $см^3$.

$$Q_{мат} = V_{мат} \times \rho_m \text{ [г]}$$

где: $V_{мат}$ – объём снятого материала, $см^3$;

ρ_m – плотность материала, $кг/м^3$.

2. Удельный расход определяется как соотношение объёмов абразивного и обрабатываемого материалов:

$$q = W_a / W_m \text{ [мм}^3\text{/мм}^3\text{]}$$

где: W_a – объём изношенной части абразивного слоя, $мм^3$;

W_m – объём сошлифованного материала, $мм^3$.

Обратной величиной удельного расхода является работоспособность абразивного круга:

$$P = 1 / q = W_m / W_a$$

Объём израсходованной части абразивного круга определялся по формуле:

$$W_a = \pi / 4 \times (D^2 - d^2) \times a \text{ [мм}^3\text{]}$$

где: D – внешний диаметр круга, $мм$;

d – внутренний диаметр круга, $мм$;

a – величина изношенного слоя, $мм$.

В данных практических исследованиях удельный расход абразивного материала оценивался по второму методу с помощью специального приспособления, показанного на рисунке. Замеры производились в 6-ти диаметрально-противоположных точках, в качестве мерительного инструмента использовались два микронных индикатора с ценой деления равной 0,001 $мм$. Действительная величина принималась как среднеарифметическое значение.

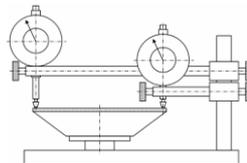


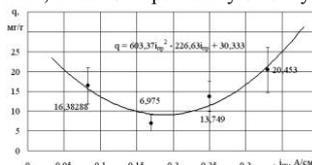
Схема приспособления для измерения износа алмазного круга

Форма отчётности: отчёт по практическому занятию должен содержать: цель работы, решаемые в ней задачи, исследование зависимости рациональных режимов КЭАО, обеспечивающих самозатачивание алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при обработке инструментальных сталей, список использованных источников.

Задания для самостоятельной работы:

Удельный расход является важной оценкой работы шлифовального круга. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы установить такие режимы работы которые приведут к наименьшему износу круга и наибольшему сошлифовыванию обрабатываемого материала. В ходе работы получены экспериментальные данные и по ним построены следующие зависимости.

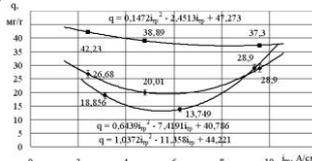
Зависимость $q = f(i_{np})$ показана ниже. Из графика видно, что при токе правки до $0,15 \text{ A/cm}^2$ удельный расход круга уменьшается. При увеличении тока правки свыше $0,2 \text{ A/cm}^2$ износ начинает увеличиваться. Полученная зависимость объясняется тем, что при токе правки меньше $0,15 \text{ A/cm}^2$ происходит частичное засаливание поверхности круга что приводит к ухудшению режущих свойств круга. Следовательно, обрабатываемого материала срезается меньше и удельный расход увеличивается. При токе правки выше $0,25 \text{ A/cm}^2$ происходит сильное растворение связки круга, что приводит к большому линейному износу круга. Поэтому увеличивается и удельный расход, что видно из графика. Следовательно, выгоднее всего работать при токе правки в пределах от $0,1$ до $0,25 \text{ A/cm}^2$. В этой области удельный расход стабилизируется в минимальном значении, имеет экстремальную точку.



Зависимость удельного расхода от плотности тока правки:
 $V = 35 \text{ м/с}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $i_{np} = 6,25 \text{ A/cm}^2$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1

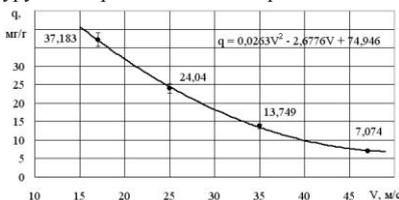
На рисунке ниже отображена зависимость $q = f(i_{tr})$. Из этого графика видно, что при шлифовании стали Р6М5 удельный расход круга снижается с увеличением плотности тока травления и стабилизируется при значениях от 5 до 6 A/cm^2 . Это объясняется тем, что при росте тока травления эрозия обрабатываемого материала происходит более интенсивно, вследствие чего силы, действующие на алмазные зёрна при шлифовании, уменьшаются. Также с увеличением тока травления при шлифовании доля электрохимической обработки растёт, а доля механического резания снижается. Это приводит к снижению линейного износа круга, что, в конечном счёте, благоприятно сказывается на удельном расходе алмазного шлифования круга.

При увеличении скорости резания от 17 до 47 м/с удельный расход круга снижается. Это видно из графика зависимости удельного расхода от скорости резания (следующий график). Полученная зависимость объясняется тем, что при увеличении скорости силы трения снижаются и в результате этого снижается линейный износ круга. Следовательно, при шлифовании целесообразнее работать на больших скоростях $35 \dots 47 \text{ м/с}$, это увеличивает срок службы круга.

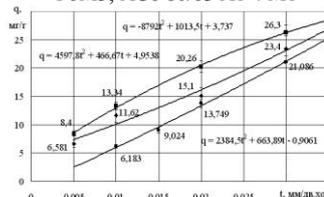


Зависимость удельного расхода алмазного круга АС6 80/63 А1 4 М1 от плотности тока травления:
 $V = 35 \text{ м/с}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $i_{np} = 0,25 \text{ A/cm}^2$;
 - Р6М5; - 9ХС; - У7

Зависимость удельного расхода круга от глубины резания представлена ниже. Из графика следует, что при увеличении глубины резания от $0,01$ до $0,03 \text{ мм/дв.ход}$ удельный расход круга увеличивается для всех материалов. Эта зависимость объясняется возрастанием силы резания и подтверждается зависимостью $P_y = f(t)$. Следовательно, при увеличении сил резания происходит более интенсивное разрушение рабочей поверхности круга. Алмазные зёрна скальваются и вырываются из связки круга. Также увеличивается трение круга об обрабатываемый материал, что повышает температуру в зоне резания. Всё это приводит к повышению линейного износа круга.

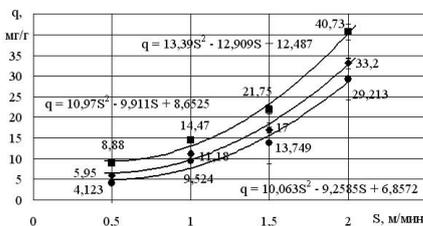


Зависимость удельного расхода от скорости резания:
 $S = 1,5 \text{ м/мин}$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $i_{np} = 0,25 \text{ A/cm}^2$; $i_{tr} = 6,25 \text{ A/cm}^2$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1



Зависимость удельного расхода алмазного круга АС6 80/63 А1 4 М1 от глубины резания:
 $V = 35 \text{ м/с}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$; $i_{np} = 0,25 \text{ A/cm}^2$; $i_{tr} = 6,25 \text{ A/cm}^2$;
 - Р6М5; - 9ХС; - У7

Ниже показана зависимость силы резания P_y от продольной подачи. Из графика видно, что при увеличении продольной подачи от $0,5$ до 2 м/мин возрастает удельный расход круга. Эта зависимость объясняется увеличением силы резания. Следовательно, износ круга протекает интенсивнее, что, в конечном счёте, приводит к увеличению удельного расхода круга. Поэтому, с целью его уменьшения необходимо работать при подаче в пределах от 1 до $1,5 \text{ м/мин}$.



Зависимость удельного расхода алмазного круга АС6 80/63 А1 4 М1 от продольной подачи:

$$V = 35 \text{ м/с}; t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}; i_{\text{пр}} = 0,25 \text{ А/см}^2; i_{\text{т}} = 6,25 \text{ А/см}^2;$$

- Р6М5; - 9ХС; - У7

Исходя из условий обоснованного минимального удельного расхода алмазов, рациональными для затачивания инструментальных сталей следует считать режимы резания:

- плотность тока правки – $i_{\text{пр}} = 0,1 \dots 0,25 \text{ А/см}^2$;
- плотность тока травления – $i_{\text{т}} = 6 \dots 8 \text{ А/см}^2$;
- скорость резания – $V = 35 \dots 47 \text{ м/с}$;
- поперечная подача – $t = 0,02 \dots 0,03 \text{ мм/дв.ход}$;
- продольная подача – $S = 1 \dots 1,5 \text{ м/мин}$.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Практическое занятие выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

1. ГОСТ 17420-72 ЕСТП. Операции механической обработки резанием. Термины и определения.
2. ГОСТ 25330-82. Обработка электрохимическая. Термины и определения.
3. ГОСТ 25331-82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения.

Основная литература

1. Железнов, Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.
2. Архипов, П.В. Технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков. - Братск: БрГУ, 2016. - 202 с.

Дополнительная литература

3. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие методики определения удельного расхода абразивных кругов существуют?
2. Как изменяется удельный расход абразивного круга в зависимости от изменения технологических параметров шлифования (режимов резания).

Практическое занятие №2

Исследование шероховатости поверхности инструментальной стали после комбинированной электроалмазной обработки

Цель работы:

Исследовать зависимости шероховатости поверхности инструментальной стали после комбинированной электроалмазной обработки алмазными шлифовальными кругами на металлической связке. Анализ полученных результатов и их корректировка

Задание:

1. Ознакомиться с основными понятиями, терминами и определениями шероховатости поверхности.
2. Определить рациональные режимы КЭАО, обеспечивающие наилучшую шероховатость поверхности после шлифования алмазными шлифовальными кругами на металлической связке:

- скорости резания, V ;
- продольной подачи, S ;
- глубины резания, t ;
- плотность тока правки, $i_{\text{пр}}$;
- плотность тока травления, $i_{\text{т}}$.

3. Оформить отчёт по практическому занятию.

Порядок выполнения:

1. Установить и научно обосновать влияние технологических характеристик КЭАО на качество изделий из инструментальных сталей.

Одним из показателей качества обработанной поверхности является шероховатость. Шероховатость поверхности образцов после шлифования измерялась с помощью профилометра «MITUTOYO SURFTEST 301», японского производства. Профиль микронеровностей по параметру R_a записывался на бумагу в прямоугольных координатах.

Технические возможности прибора позволяют измерять профиль микронеровностей по нескольким параметрам одновременно: R_a , R_z , R_q , автоматический подсчёт среднего параметра, вычерчивание графика с профилем микронеровностей на измеряемом участке.

2. Получить график шероховатости с профилем микронеровностей на измеряемом участке образца из инструментальной стали.

На рисунке ниже представлен пример такой записи при измерении микронеровностей эталонной поверхности образца.

В процессе шлифования шероховатость обрабатываемой поверхности зависит от режимов обработки, характеристики круга, свойств обрабатываемого материала, вибраций и других причин. Полученные зависимости и их математические уравнения обрабатывались с помощью компьютерной техники, с применением таких программ как «Excel» и «Mathcad Pro».

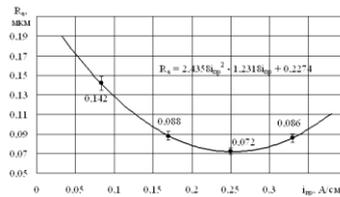
3. Определить рациональные условия при шлифовании изделий из инструментальных сталей алмазными кругами на металлических связках.

Форма отчётности: отчёт по практическому занятию должен содержать: цель работы, решаемые в ней задачи, исследование зависимости шероховатости поверхности инструментальной стали после комбинированной электроалмазной обработки алмазными шлифовальными кругами на металлической связке, список использованных источников.

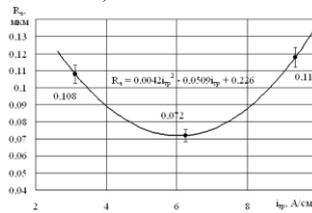
Задания для самостоятельной работы:

Необходимо описать полученные в исследовании зависимости шероховатости поверхности инструментальной стали после комбинированной электроалмазной обработки алмазными шлифовальными кругами на металлической связке. Например.

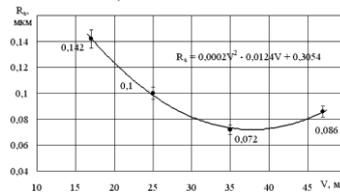
Изменение плотности тока правки показало, что при $i_{\text{пр}} = 0,083 \dots 0,25 \text{ А/см}^2$ происходит снижение параметра шероховатости от 0,142 до 0,072 мкм. Это, очевидно, объясняется тем, что при малом токе правки алмазный круг недостаточно быстро выправляется и происходит его частичное засаливание. При этом увеличивается радиальная сила P_r , что и приводит к увеличению шероховатости поверхности. При $i_{\text{пр}} = 0,25 \text{ А/см}^2$ круг работает в режиме полного самозатачивания, а радиальная сила P_r имеет постоянное значение. Дальнейшее увеличение $i_{\text{пр}}$ приводит к постепенному увеличению шероховатости, что объясняется более интенсивной правкой поверхности круга, когда алмазные зерна больше выступают из связки. Анализируя полученную зависимость можно сделать вывод, что наиболее благоприятное воздействие на шероховатость поверхности оказывает плотность тока правки в пределах от 0,17 до 0,25 А/см^2 .



Зависимость шероховатости от плотности тока правки:
 $V = 35 \text{ м/с}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $i_{\text{тр}} = 6,25 \text{ А/см}^2$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1

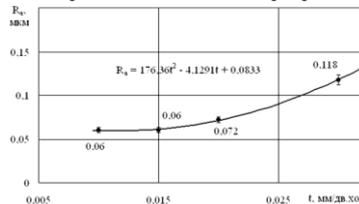


Зависимость шероховатости от плотности тока травления:
 $V = 35 \text{ м/с}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $i_{\text{тр}} = 0,25 \text{ А/см}^2$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1

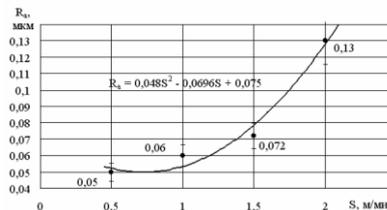


Зависимость шероховатости от скорости резания:
 $i_{\text{тр}} = 0,25 \text{ А/см}^2$; $i_{\text{пр}} = 6,25 \text{ А/см}^2$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1

При увеличении плотности тока травления с 3,125 до 6,25 А/см² происходит снижение шероховатости поверхности в пределах 0,108...0,072 мкм. Это, очевидно, объясняется малой плотностью тока травления, когда преобладает механическое резание металла. На этих режимах радиальная сила P_r имеет большое значение, а это приводит к увеличению шероховатости. При $i_{\text{пр}} = 6,25 \text{ А/см}^2$ преобладают электрохимические процессы шлифования, здесь происходит интенсивное растворение обрабатываемого материала и, как следствие, сглаживание микронеровностей поверхности. С увеличением $i_{\text{пр}}$ до 9,375 А/см² происходит увеличение шероховатости до 0,118 мкм. Это, вероятно, объясняется тем, что происходит переход от электрохимической к электроэрозионной обработке.



Зависимость шероховатости от глубины резания:
 $i_{\text{пр}} = 0,25 \text{ А/см}^2$; $i_{\text{тр}} = 6,25 \text{ А/см}^2$; $V = 35 \text{ м/с}$; $S = 1,5 \text{ м/мин}$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1



Зависимость шероховатости от продольной подачи:
 $V = 35 \text{ м/с}$; $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $i_{\text{пр}} = 0,25 \text{ А/см}^2$; $i_{\text{тр}} = 6,25 \text{ А/см}^2$;
 - Р6М5; АС6 80/63 А1 4 М1

Полученные данные о шероховатости обработанной поверхности от механических режимов резания: скорости резания, подачи и глубины резания хорошо согласуются с исследованиями, широко представленными в справочной литературе. Однако уровень шероховатости при данном методе значительно ниже. Это можно объяснить возникновением дополнительного электрохимического растворения микрорельефа обработанной поверхности. Как правило, исследованные образцы имеют однородный вид, близкий к зеркальному, как при электрохимическом травлении (полировании).

Так с увеличением скорости резания от 17 м/с до 35 м/с, величина шероховатости снижается с 0,142 мкм до 0,072 мкм. Это можно объяснить тем, что с увеличением скорости резания уменьшается сечение срезов, производимых каждым работающим зерном. Это снижает силы резания, как отдельных зерен, так и суммарную силу резания, в результате чего уменьшаются сколы режущей кромки, а шероховатость и острота ее улучшаются. Однако с увеличением скорости более 47 м/с возрастает ударное воздействие алмазных зерен на режущую кромку, что приводит к повышению шероховатости до 0,086 мкм, здесь же сказываются вибрации станка и оснастки.

При увеличении глубины резания от 0,01 до 0,03 мм/дв.ход происходит увеличение параметра R_a от 0,06 до 0,118 мкм. Как известно, с увеличением глубины резания, увеличивается глубина царапин от алмазных зёрен и, кроме того, происходит рост суммарной силы резания и сколов кромки алмазных зерен.

При увеличении продольной подачи от 0,5 до 2 м/мин шероховатость увеличивается незначительно, от 0,05 до 0,13 мкм. Малая величина шероховатости, вероятно, объясняется тем, что сила P_r небольшая, а имеющие место электрохимические процессы способствуют растворению микронеровностей. С повышением продольной подачи происходит рост радиальной составляющей силы P_r , снижается доля электрохимического растворения, вследствие чего происходит повышение шероховатости до 0,13 мкм.

Таким образом, варьируя различными технологическими параметрами процесса шлифования быстрорежущих сталей по КЭАО алмазными кругами на металлической связке марки, а также исходя из условий минимального значения шероховатости, в пределах $R_a =$

0,05...0,072 мкм, оптимальными следует считать следующие режимы: $i_{np} = 0,25 \text{ A/cm}^2$; $i_{np} = 6,25 \text{ A/cm}^2$; $V = 35 \text{ м/с}$; $t = 0,01...0,02 \text{ мм/дв.ход}$; $S = 0,5...1,5 \text{ м/мин}$.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Практическое занятие выполняется на базе информации по выбранной тематике исследования, собранной магистрантом самостоятельно. Полученные результаты обсуждаются и согласовываются с ведущим преподавателем.

Рекомендуемые источники

- ГОСТ 17420-72 ЕСТПП. Операции механической обработки резанием. Термины и определения.
- ГОСТ 25330-82. Обработка электрохимическая. Термины и определения.
- ГОСТ 25331-82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения.

Основная литература

- Железнов, Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.
- Архипов, П.В. Технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / П.В. Архипов, А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков. - Братск: БрГУ, 2016. - 202 с.

Дополнительная литература

- Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

- Какие методики определения шероховатости обработанной поверхности существуют?
- Как изменяется шероховатость в зависимости от изменения режимов резания?

9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата

Учебным планом не предусмотрено.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;
- создания презентационного сопровождения занятий;
- работы в электронной информационной среде.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

- Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7.
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
- Adobe Reader.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	-
ЛР	Лаборатория Технологии машиностроения	Учебная мебель; Плоскошлифовальный станок 3Е711В	№ 1...2
	Лаборатория инструментального обеспечения машиностроительных производств	Учебная мебель; Заточной станок 3Д642	
ПЗ	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	-
СР	Читальный зал № 1	Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb(мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-4	способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа	1. Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами 2. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами 3. Об актуальности прогрессивных методов обработки 4. Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами	1.1. Методика исследования 1.2. Атомистическое моделирование 1.3. Анализ дефектов алмаза 2.1. Воздействие точечных дефектов (микродефекты) 2.2. Воздействие объемных дефектов (макродефекты) 2.3. Воздействие точечных и объемных дефектов на износ алмазов 3.1. Краткий анализ ключевых слов из группы Инструментальные материалы 3.2. Краткий анализ ключевых слов из группы Инструменты 3.3. Краткий анализ ключевых слов из группы Технологии 4.1. Механическая адгезия 4.2. Адсорбционная или молекулярная адгезия 4.3. Химическая адгезия 4.4. Электрическая адгезия	Экзаменационные вопросы
ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.			

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1.	ОПК-4	способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа	1.1. Сущность метода КЭАО. 1.2. Современные материалы, обрабатываемые с помощью КЭАО. 1.3. Основные параметры и характеристики КЭАО, влияющие на качество обработки. 2.1. Дефекты, возникающие при КЭАО. 2.2. Особенности изготовления катода. 2.3. Основные параметры и характеристики токосъёмника. 2.4. Различия и общие признаки схем КЭАО. 3.1. Основные характеристики источника технологического тока. 3.2. Шероховатость обработанной поверхности и производительность КЭАО. 4.1. Какие методики определения удельного расхода абразивных кругов существуют? 4.2. Как изменяется удельный расход абразивного круга в зависимости от изменения технологических параметров шлифования (режимов резания)? 4.3. Какие методики определения шероховатости обработанной поверхности существуют? 4.4. Как изменяется шероховатость в зависимости от изменения режимов резания?	1. Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами 2. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами 3. Об актуальности прогрессивных методов обработки 4. Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами
2.	ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.		

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать: ОПК-4 - основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества; ПК-16 - методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств;</p> <p>Уметь: ОПК-4 - разрабатывать процессы изготовления машиностроительных изделий требуемого качества; ПК-16 - разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий;</p> <p>Владеть: ОПК-4 - навыками изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда. ПК-16 - навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.</p>	отлично	<ul style="list-style-type: none"> - даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
	хорошо	<ul style="list-style-type: none"> - даны полные, достаточно обоснованные ответы на поставленные вопросы; - твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на полученные знания; - не допускает существенных неточностей; - увязывает усвоенные знания с практической деятельностью; - владеет системой основных понятий дисциплины.
	удовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> - даны в основном правильные ответы на все поставленные вопросы, но без достаточного обоснования; - допускает несущественные ошибки и неточности; - испытывает затруднения в практическом применении полученных знаний; - слабо аргументирует научные положения; - частично владеет системой основных понятий дисциплины.
	не удовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> - допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Прогрессивные методы и технологии обработки металлов направлена на освоение на практике и совершенствование прогрессивных методов и технологий обработки металлов, сверхтвёрдых и высокопрочных материалов, а также современных наноматериалов, включая участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с учетом научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в металлообрабатывающей отрасли.

Изучение дисциплины Прогрессивные методы и технологии обработки металлов предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- практические занятия;
- самостоятельную работу;
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами обучающиеся должны изучить современные тренды в области обработки металлов и показать, что в настоящее время алмазный инструмент находится на пике своей популярности, опережая по количеству поисковых запросов в Интернете

инструмент из кубического нитрида бора, карбида кремния зеленого и электрокорунда. Более того, прослеживается тенденция на стабильное увеличение интереса металлообрабатывающей промышленности и машиностроительного комплекса к алмазным шлифовальным кругам. Подобная популярность объясняется тем, что производство, на базе последних научных исследований, научилось эффективно применять инструмент из синтетического алмаза. Однако, как показала практика, практически каждый алмаз имеет различные дефекты, которые оказывают характерное воздействие на его разрушение и износ, что следует учитывать при эксплуатации приборов и изделий, содержащих алмазы.

В ходе освоения раздела 2 Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами обучающиеся должны ознакомиться с дефектами, возникающими в кристаллах алмаза при их синтезе, что даёт начало к образованию более сложных дефектов, возникающих уже в процессе эксплуатации самих алмазов. При внешнем воздействии эти дефекты оказывают мгновенное и сильное влияние на эксплуатационные характеристики приборов, изделий или инструментов, содержащих алмазы. В особенности это проявляется при шлифовании вязких, пластичных материалов на основе алюминия, магния или титана. Разработанный на базе современных цифровых технологий и молекулярной динамики метод визуализации, позволит наглядно показать эти дефекты на атомном уровне.

В ходе освоения раздела 3 Об актуальности прогрессивных методов обработки обучающиеся должны ознакомиться с новым подходом к определению популярности любого научного исследования на основе получения статистики его ключевых слов. Как известно, ключевые слова, указываемые, например, автором к своей статье, являются своеобразными маркерами, подчёркивающими основной интерес представленного материала. И если учёный с опытом прекрасно знает и помнит, как со временем менялись тенденции его научных исследований, то молодому учёному, в начале своего пути, важно знать, что область его профессиональных интересов весьма популярна и необходима, что его труд принесёт пользу, как государству, так и обычному человеку. В настоящее время у проживающих на территории России имеется возможность осуществлять анализ такой динамики, наглядно увидеть популярность всех ключевых слов, начиная с 2004 года. В качестве примера в лекциях приведён подробный анализ динамики популярности ключевых слов, объединённых в три группы: Инструментальные материалы, Инструменты, Технологии.

В ходе освоения раздела 4 Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами обучающиеся должны изучить, что засаленный слой образуется в несколько, различных по своей природе этапов, вероятность протекания которых подтверждается современными научными представлениями об адгезии. В каждом отдельном случае, при обработке разных материалов, шлифовании разными абразивами, могут преобладать различные механизмы адгезии, справедливые только для конкретных термодинамических, фазовых и кинетических характеристик процесса.

Необходимо овладеть навыками и умениями применения полученных знаний для подготовки и проведения организационной работы в области качественной обработки поверхностей, применения тех или иных технологических решений в конкретных ситуациях а также овладеть способностью осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется обратить внимание на научные проблемы состояния поверхностного слоя деталей машин после прогрессивных методов обработки металлов. Овладение ключевыми понятиями, терминами и определениями прогрессивных методов обработки металлов является необходимым для корректного оперирования общепринятыми терминами научного сообщества при подготовке выпускной квалификационной работы.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить вопросам, связанным с качественной составляющей поверхностного слоя деталей машин.

В процессе проведения лабораторных и практических работ происходит закрепление

знаний, формирование умений и навыков реализации представления о прогрессивных методах обработки металлов в технологии машиностроения.

Самостоятельную работу необходимо начинать с ознакомления с основными понятиями, терминами и определениями прогрессивных методов обработки металлов; определения основных задач, решаемых при помощи прогрессивных методов обработки.

В процессе консультации с преподавателем обсуждаются и согласовываются полученные результаты, уточняются и корректируются отчёты по лабораторным работам.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и в Интернете.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Прогрессивные методы и технологии обработки металлов

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – освоение на практике и совершенствование прогрессивных методов и технологий обработки металлов, сверхтвёрдых и высокопрочных материалов, а также современных наноматериалов, включая участие в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий с учетом научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в металлообрабатывающей отрасли.

Задачами изучения дисциплины является:

- развитие способности использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.

2. Структура дисциплины

2.1. Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 17 часов; лабораторные работы – 51 час; практические занятия – 17 часов; самостоятельная работа – 68 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 180 часов, 5 зачетных единиц.

2.2. Основные разделы дисциплины:

1. Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами.
2. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами.
3. Об актуальности прогрессивных методов обработки.
4. Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-4 – способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа;

ПК-16 – способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.

4. Вид промежуточной аттестации: Экзамен.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры ТМ №__ от «__» _____ 20__ г.,

Заведующий кафедрой _____

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-4	способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа	1. Разрушение алмазных зерен при шлифовании прогрессивными методами	1.1. Методика исследования	Отчет по ЛР №1
			1.2. Атомистическое моделирование	Отчет по ЛР №1;
			1.3. Анализ дефектов алмаза	Отчет по ПЗ № 1
		2. Дефекты в алмазах – основа адгезии при шлифовании прогрессивными методами	2.1. Воздействие точечных дефектов (микродефекты)	Отчет по ЛР №1
			2.2. Воздействие объемных дефектов (макродефекты)	Отчет по ЛР №1;
			2.3. Воздействие точечных и объемных дефектов на износ алмазов	
ПК-16	способность осваивать на практике и совершенствовать технологии, системы и средства машиностроительных производств, участвовать в разработке и внедрении оптимальных технологий изготовления машиностроительных изделий, выполнять мероприятия по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации.	3. Об актуальности прогрессивных методов обработки	3.1. Краткий анализ ключевых слов из группы Инструментальные материалы	Отчет по ЛР №2
			3.2. Краткий анализ ключевых слов из группы Инструменты	Отчет по ЛР №2;
			3.3. Краткий анализ ключевых слов из группы Технологии	Отчет по ПЗ № 2
		4. Образование засаленного слоя при обработке металлов прогрессивными методами	4.1. Механическая адгезия	Отчет по ЛР №2
			4.2. Адсорбционная или молекулярная адгезия	Отчет по ЛР №2;
			4.3. Химическая адгезия	
			4.4. Электрическая адгезия	

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать: ОПК-4</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества; <p>ПК-16</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы совершенствования технологий, систем и средств машиностроительных производств; <p>Уметь: ОПК-4</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать процессы изготовления машиностроительных изделий требуемого качества; <p>ПК-16</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать и внедрять оптимальные технологии изготовления машиностроительных изделий; <p>Владеть: ОПК-4</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда. <p>ПК-16</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками выбора и эффективного использования материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств диагностики, автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчетов параметров технологических процессов для их реализации. 	зачтено	<ul style="list-style-type: none"> - даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
	не зачтено	<ul style="list-style-type: none"> - допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств от 11 августа 2016 г № 1000

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля 2018г. № 413,

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» октября 2016 г. № 684,

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125,

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130.

Программу составил:

Попов В.Ю., доцент кафедры МиТ, канд. техн. наук. _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры МиТ от «11» декабря 2018 г., протокол № 6

И.о. заведующего кафедрой МиТ _____ Е.А. Слепенко

СОГЛАСОВАНО:

И.о. заведующего выпускающей кафедрой МиТ _____ Е.А. Слепенко

Директор библиотеки _____ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета МФ от «14» декабря 2018 г., протокол № 4

Председатель методической комиссии факультета МФ _____ Г.Н. Плеханов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник учебно-методического управления _____ Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____