

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев

**МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

Минск
БГАТУ
2019

Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.: ил. – ISBN 978-985-25-0018-0.

В монографии описаны особенности формирования топографии и микрорельефа сложнопрофильных поверхностей при их магнитно-абразивной обработке. Научно обоснованы компоненты рабочей технологической среды, оказывающие основное влияние на процесс магнитно-абразивной обработки. Приведены результаты исследования свойств компонентов рабочей технологической среды и их влияния на интенсивность съема материала и показатели качества сложнопрофильных поверхностей тел вращения. Предложен метод управления параметрами рабочей технологической среды с учетом самоорганизации процесса магнитно-абразивной обработки. Рассмотрены примеры практической реализации технологии магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей.

Для научных работников, занимающихся разработкой технологий финишной обработки поверхностей деталей машин, аспирантов и студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений.

Табл. 52. Ил. 95. Библиогр.: 308 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
Учреждения образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»
(протокол № 1 от 3 января 2019 г.)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор,
заведующий научно-исследовательской инновационной
лабораторией плазменных и лазерных технологий
филиала БНТУ «Научно-исследовательский
политехнический институт» *О. Г. Девойно*;
кандидат технических наук, доцент,
начальник отдела – заведующий лабораторией
ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» *И. И. Вегера*

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
Глава 1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	
1.1. Анализ методов финишной абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	11
1.1.1. Классификация сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	13
1.1.2. Финишная обработка сложнопрофильных поверхностей инструментом с жестко-связанным абразивным зерном.....	15
1.1.3. Финишная обработка сложнопрофильных поверхностей инструментом со свободным закреплением абразивного зерна.....	16
1.1.4. Финишная обработка сложнопрофильных поверхностей инструментом с подвижно-скоординированным закреплением абразивного зерна.....	19
1.1.5. Финишная обработка сложнопрофильных поверхностей инструментом с гибким проволочно-абразивным валом.....	20
1.1.6. Современные представления механизмов съема металла при финишной абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей.....	22
1.2. Основные закономерности механизма стружкообразования при финишной абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей тел вращения и технологические параметры.....	25
1.3. Влияние параметров рабочей технологической среды на магнитно-абразивную обработку сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	29
1.4. Механизм формирования микрорельефа, топографии и профиля поверхности при магнитно-абразивной обработке тел вращения.....	35
1.5. Анализ способов магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения, схем и конструкций оборудования.....	38
1.6. Методология исследования процессов магнитно-абразивной обработки в электромагнитном поле.....	43

1.7. Методология самоорганизации процессов магнитно-абразивной обработки в электромагнитном поле.....	46
1.8. Экспериментальное оборудование, приборы и материалы для исследования процесса магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	48
1.9. Методы исследования.....	50
1.9.1. Методика исследования абразивной способности ферроабразивных порошков.....	50
1.9.2. Методики исследования смазочно-охлаждающих технологических средств.....	52
1.9.2.1. Методика исследования смазочно-охлаждающих технологических средств компьютерной микроскопией.....	52
1.9.2.2. Методика исследования бактерицидной поражаемости смазочно-охлаждающих технологических средств.....	53
1.10. Методики расчета и исследования топографии магнитного поля и ферроабразивных порошков.....	54
1.10.1. Методики расчета параметров ЭМП и определения магнитных характеристик ФАП.....	54
1.10.2. Методика исследования прохождения различных рабочих жидкостей через слой ФАП при наложении магнитного поля.....	56
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ	
2.1. Кинетика рабочей технологической среды при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	58
2.1.1. Кинетика рабочей технологической среды при магнитно-абразивной обработке с учетом синергизма ее факторов.....	58
2.1.2. Динамика рабочей технологической среды при магнитно-абразивной обработке с учетом синергизма ее факторов.....	60
2.1.3. Исследование влияния давления рабочей технологической среды на обрабатываемую поверхность при магнитно-абразивной обработке.....	67
2.1.4. Исследование режущей способности рабочей технологической среды и ее адгезионного взаимодействия с обрабатываемым металлом при магнитно-абразивной обработке.....	71

2.2. Исследование процесса формирования топографии магнитного поля для магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	75
2.2.1. Теоретическое описание топографии магнитного поля для сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	76
2.2.2. Исследование топографии магнитного поля решением системы дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты.....	80
2.2.3. Исследование топографии магнитного поля методом конформных отображений.....	83
2.3. Моделирование магнитного поля при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	87
2.3.1. Моделирование магнитного поля при магнитно-абразивной обработке деталей сферической формы.....	87
2.3.2. Моделирование магнитного поля при магнитно-абразивной обработке мелкозубчатых зубчатых колес.....	89
2.3.3. Моделирование магнитного поля при магнитно-абразивной обработке наружных конических поверхностей.....	91
2.3.4. Моделирование магнитного поля при магнитно-абразивной обработке внутренних конических поверхностей.....	93
2.4. Экспериментальные исследования влияния параметров рабочей технологической среды на производительность и качество при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	95
2.4.1. Исследование топографии магнитного поля на основе схемы обработки беговых дорожек внутренних колец подшипников качения.....	96
2.4.2. Факторный анализ процесса магнитно-абразивной обработки по производительности и качеству поверхности.....	100
2.4.3. Разработка математико-статистических моделей зависимости производительности и качества обрабатываемой поверхности при магнитно-абразивной обработке от технологических режимов.....	104

Глава 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФЕРРОАБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ, ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СЪЕМА МЕТАЛЛА

3.1. Разработка технологии изготовления композиционных ферроабразивных порошков.....	112
--	-----

3.1.1. Виды ферроабразивных порошков и способы их изготовления.....	113
3.1.2. Магнитная проницаемость ферроабразивных порошков.....	116
3.1.3. Исследования структуры и фазового состава ферроабразивных порошков.....	119
3.1.4. Технологии изготовления композиционных ферроабразивных порошков.....	123
3.2. Исследование режущей способности композиционных ферроабразивных порошков при магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	126
3.2.1. Исследование режущей способности ферроабразивных порошков на основе оксидов ванадия и титана для повышения светоотражательной способности....	127
3.2.2. Исследование режущей способности ферроабразивных порошков на основе белого износостойкого чугуна для обработки алюминиевых сплавов.....	131
3.2.3. Исследование режущей способности ферроабразивных порошков на основе боридов железа для обработки бронзовых и латунных сплавов.....	134
3.3. Механизм влияния смазочно-охлаждающих технологических средств на интенсивность съема металла при магнитно-абразивной обработке.....	137
3.3.1. Механизм действия смазочно-охлаждающих технологических средств на съем металла.....	139
3.3.2. Механизм действия смазочно-охлаждающих технологических средств при магнитно-абразивной обработке эвольвентных поверхностей.....	141
3.3.3. Механизм анодного растворения углеродистых сталей.....	143
3.3.4. Влияние активирующих технологических сред на процесс резания материалов.....	146
3.3.5. Разработка смазочно-охлаждающих технологических средств для магнитно-абразивной обработки цветных материалов.....	147
3.3.6. Исследование влияния составов и физико-химических характеристик смазочно-охлаждающих технологических средств на интенсивность съема металла.....	155
3.4. Экспериментальные исследования влияния смазочно-охлаждающих технологических средств на интенсивность съема металла при магнитно-абразивной обработке.....	160

Глава 4. РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ МАГНИТОПРОВОДОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА УПРАВЛЕНИЕМ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

- 4.1. Расчет профилирования полюсных наконечников
при формировании рабочей технологической среды.....172
 - 4.1.1. Расчет эквидистантного профиля полюсных наконечников...175
 - 4.1.2. Расчет профиля полюсных наконечников методом
интерполирования.....177
- 4.2. Исследование электромагнитных устройств
для магнитно-абразивной обработки
сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....179
- 4.3. Самоорганизация и управление процессами
магнитно-абразивной обработки
сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....186
 - 4.3.1. Критерии процессов формирования поверхностей
при магнитно-абразивной обработке.....186
 - 4.3.2. Моделирование и оптимизация параметров рабочей
технологической среды с учетом самоорганизации процесса
магнитно-абразивной обработки.....190
 - 4.3.3. Управление параметрами рабочей технологической среды
с учетом самоорганизации процесса
магнитно-абразивной обработки.....199

Глава 5. РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ С УПРАВЛЕНИЕМ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

- 5.1. Исследование физико-механических характеристик
поверхностного слоя в зависимости
от параметров рабочей технологической среды
при магнитно-абразивной обработке.....202
 - 5.1.1. Исследование шероховатости поверхности.....203
 - 5.1.2. Исследование светотрагательной способности поверхности....207
 - 5.1.3. Исследование микротвердости
и структуры поверхностного слоя.....209
- 5.2. Исследование эксплуатационных характеристик
поверхностного слоя после магнитно-абразивной обработки.....219
 - 5.2.1. Исследование износостойкости поверхностного слоя.....219

5.2.2. Исследование коррозионной стойкости поверхностного слоя.....	224
5.3. Разработка типового технологического процесса магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	227
5.4. Освоение в производстве технологии и оборудования для магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	228
5.5. Перспективные области применения магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения.....	235
5.5.1. Магнитно-абразивная обработка мелко модульных зубчатых колес.....	236
5.5.2. Применение магнитно-абразивной обработки для скругления фасок и удаления заусенцев.....	237
5.5.3. Магнитно-абразивная обработка длинномерных отверстий.....	240
5.5.4. Применение магнитно-абразивной обработки для металлооптических элементов с высоким коэффициентом светоотражения изделий.....	242
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	245

Научное издание

Акулович Леонид Михайлович,
Сергеев Леонид Ефимович

**МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

Ответственный за выпуск *И. С. Крук*
Корректор *Г. В. Анисимова*
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 27.12.2019. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 15,81. Уч.-изд. л. 12,36. Тираж 100 экз. Заказ 891.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.