

А. Н. Зайцев

**ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА**

**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ
ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННО-ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ЭЭХО)	10
1.1. Роль электрофизико-химических методов обработки (ЭФХМО) в производстве современных машин	10
1.2. История возникновения и развития технологии электроэрозионно-электрохимической обработки	11
1.3. Методы получения отверстий малого диаметра	13
1.3.1. Сравнение технологических показателей методов получения отверстий малого диаметра	14
1.3.2. Преимущества электроэрозионно-электрохимической обработки отверстий малого диаметра	26
2. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЭЭХО	27
2.1. Исследование закономерностей электрического пробоя электролита в условиях ЭЭХО	27
2.1.1. Оборудование и материалы для экспериментального исследования электрических разрядов в условиях ЭЭХО	27
2.1.2. Экспериментальное исследование напряжения и времени запаздывания электрического пробоя электролитов	30
2.1.3. Феноменология процессов, определяющих запаздывание пробоя в условиях ЭЭХО. Роль переднего фронта импульса тока	36
2.1.4. Математическая модель импульса тока на предпробойной стадии	43
2.1.5. Влияние ультразвукового поля на параметры пробойного импульса	52
2.2. Исследование физико-химических процессов, сопровождающих электрические разряды в условиях ЭЭХО малых отверстий	56
2.2.1. Экспериментальное исследование динамики расширения ГПП в узком кольцевом МЭП	56
2.2.2. Математическая модель динамики расширения ГПП	64
2.2.3. Влияние динамики расширения ГПП на интенсивность электроэрозионного съема в условиях ЭЭХО	75
2.2.4. Зависимость эрозионного съема от паузы между импульсами тока	78
2.2.5. Зависимость амплитуды поперечной вибрации стержневого ЭИ от параметров электрического разряда	87
2.2.6. Исследование эрозионного съема при искусственном ограничении размеров катодного пятна канала разряда	97
2.3. О механизме повышения производительности при ЭЭХО отверстий малого диаметра	108
2.3.1. Стадийная модель осуществления процесса ЭЭХО отверстий малого диаметра	108
2.3.2. Физико-химические основы повышения производительности при ЭЭХО	112
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЭХО	117
3.1. Классификация технологических схем ЭЭХО	117
3.2. Обзор известных схем ЭЭХО отверстий	118
3.2.1. Технологическая схема одноконтурной электроэрозионно-электрохимической прошивки отверстий малого диаметра	118

3.2.2. Многоэлектродные и многоконтурные схемы ЭЭХО с управляемой дискретно-локальной подачей энергии	123
3.2.3. Многокоординатная обработка непрофилированным стержневым ЭИ малого диаметра	124
3.3. Исследование технологических показателей ЭЭХО отверстий малого диаметра.....	129
3.3.1. Понятие максимально допустимой скорости подачи при ЭЭХО отверстий малого диаметра.....	129
3.3.2. Влияние параметров режима на максимально допустимую скорость подачи.....	133
3.3.3. Микроструктура поверхностного слоя после ЭЭХО	139
3.3.4. Шероховатость боковой поверхности отверстия	147
3.3.5. Износ электрод-инструмента	150
3.3.6. Математическая модель электрохимического формообразования боковой поверхности отверстия	153
3.3.7. Анализ погрешности формообразования боковой поверхности.....	161
4. СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ.....	169
4.1. Станки ЭЭХО.....	169
4.2. Источники питания для ЭЭХО.....	174
4.2.1. Опытные и экспериментальные образцы источников питания для ЭЭХО, используемые в промышленности.....	174
4.2.2. Рекомендации по выбору источника питания для ЭЭХО отверстий малого диаметра	180
4.3. Системы автоматического управления процессом ЭЭХО и системы защиты от коротких замыканий.....	182
4.3.1. Системы управления процессом ЭЭХО.....	182
4.3.2. Системы защиты от коротких замыканий	186
4.4. Пример технического задания на перспективный станок для ЭЭХО отверстий малого диаметра и непрофилированным ЭИ.....	186
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЭХО	191
5.1. Примеры прошивочных технологических операций ЭЭХО отверстий.....	191
5.1.1. Прошивка смазочных отверстий в наружных кольцах подшипников качения.....	191
5.1.2. Многоэлектродная прошивка отверстий	193
5.2. Примеры технологических операций многокоординатной ЭЭХО сложнофасонных поверхностей стержневым ЭИ малого диаметра.....	198
5.3. Рекомендации по выбору оптимальных режимов ЭЭХО.....	201
5.3.1. Задача оптимизации режима ЭЭХО отверстий малого диаметра	201
5.3.2. Блок-схема алгоритма выбора параметров режима на операции ЭЭХО отверстий малого диаметра	203
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДА ЭЭХО	209
ЛИТЕРАТУРА	211
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	227
П.1. ПУБЛИКАЦИИ уфимских ученых в области теории процесса, технологии и оборудования для ЭЭХО	227
П.2. ИЗОБРЕТЕНИЯ (патенты и авторские свидетельства) уфимских ученых в области ЭЭХО	233