

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ОПТИМИЗАЦИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**



«Инфра-Инженерия»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 621.9.047
ББК 34.5
М74

А в т о р ы :

Житников В. П., Зайцев А. Н., Шерыхалина Н. М., Муксимова Р. Р., Поречный С. С.

Р е ц е н з е н т ы :

д. т. н., профессор МФТИ, заслуженный машиностроитель России, начальник Научно-технического центра научно-производственного комплекса ФГУП «ЦАГИ» *Вермель Владимир Дмитриевич*;
д. ф.-м. н., профессор, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, член Европейской рабочей группы FinMod (финансовое моделирование) *Бронштейн Ефим Михайлович*

М74 **Моделирование и оптимизация перспективных схем электрохимической обработки** : монография / [Житников В. П. и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 436 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0919-3

Изложены подходы к математическому моделированию и формализации задач ЭХО с помощью теории функций комплексного переменного, предложены постановки плоских и осесимметричных задач ЭХО, а также описаны аналитические, численно-аналитические и численные методы решения. Рассмотрены такие теоретические модели ЭХО, как начальное, стационарное и нестационарное формообразование, автономные решения. Экспериментальное исследование задач в нульмерной и одномерной постановке приведено с надежными оценками погрешности.

Для специалистов в области обработки металлов. Может быть полезно студентам и аспирантам машиностроительных специальностей.

The approaches to mathematical modeling and formalization of ECM problems using the theory of functions of a complex variable are presented, the statements of plane and axisymmetric ECM problems are proposed, and analytical, numerical-analytical and numerical methods of solution are described. Such theoretical models of ECM as initial, stationary and non-stationary shaping, self-similar solutions are considered. Experimental investigations of the problems at the zero-dimensional and one-dimensional formulation are presented with reliable estimates of the error.

For professionals in the field of metal processing. It can be useful for students and graduate students of mechanical engineering specialties.

УДК 621.9.047
ББК 34.5

ISBN 978-5-9729-0919-3

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Принятые обозначения и размерности основных величин	6
ГЛАВА 1. Современное состояние и перспективы развития электрохимической размерной обработки	8
1.1. Краткий исторический очерк о развитии и становлении ЭХО.....	8
1.2. Общая характеристика технологических схем реализации процессов размерной ЭХО.....	10
1.3. Импульсная ЭХО вибрирующим ЭИ.....	11
1.4. Последовательно-строчная ЭХО непрофилированным ЭИ.....	19
ГЛАВА 2. Математические модели ЭХО. Постановка основных задач	22
2.1. Обзор подходов к моделированию ЭХО.....	22
2.2. Основные подходы к формализации.....	37
2.3. Решение осесимметричных задач с помощью методов ТФКП.....	43
2.4. Постановка плоских задач.....	56
2.5. Постановка осесимметричных задач.....	62
ГЛАВА 3. Методы решения задач ЭХО	68
3.1. Аналитические методы решения задач.....	68
3.2. Численно-аналитические методы решения плоских задач.....	115
3.3. Численное решение осесимметричных задач.....	140
3.4. Методы решения нестационарных задач.....	154
ГЛАВА 4. Теоретические модели электрохимического формообразования	161
4.1. Начальное электрохимическое формообразование.....	161
4.2. Стационарное электрохимическое формообразование.....	174
4.3. Автомодельные решения.....	186
4.4. Квазистационарные задачи.....	198
4.5. Нестационарное электрохимическое формообразование.....	202
ГЛАВА 5. Постановка, моделирование и верификация типовых задач с помощью линейного приближения	224
5.1. Моделирование последовательно-строчной ЭХО непрофилированным ЭИ.....	224
5.2. Алгоритмы автоматизированного программирования формообразующих траекторий при ЭХО непрофилированным ЭИ.....	244
5.3. Процесс возникновения и развития короткого замыкания.....	255
5.4. Моделирование электрохимической 3D-вырезки вращающимся ЭИ типа «длинная тонкая пластина».....	269

5.5. Моделирование и оптимизация ЭХО криволинейного пространственного усиления сварного шва непрофилированным стержневым ЭИ.....	277
5.6. Постановка и решение задачи оптимизации припуска и параметров режима на операции последовательно-строчной ЭХО поверхности непрофилированным ЭИ	286
ГЛАВА 6. Экспериментальное исследование, постановка, моделирование и верификация типовых задач в 0- и одномерной постановке	297
6.1. Оценка степени локализации процесса импульсной ЭХО	298
6.2. Униполярная импульсная ЭХО вибрирующим ЭИ	316
6.3. Гидродинамическая модель возникновения макрорельефа типа «струйность» на анодной поверхности	326
6.4. Математическое моделирование электрохимического формообразования полусферическим ЭИ с использованием микросекундных импульсов тока высокой (до 100 А/см ²) плотности	335
6.5. ЭХО микросекундными импульсами тока сверхвысокой (~1000 А/см ²) плотности	342
6.6. ЭХО с дополнительным электродом.....	353
6.7. Экспериментальное исследование и моделирование зависимостей электродных потенциалов от длительности поляризации	360
6.8. Оценка случайной составляющей погрешности ширины паза при электрохимической вырезке проволочным ЭИ.....	366
Заключение.....	377
Список литературы.....	378
Приложение.....	391