

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А.О. Конькова

konkova@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация	Ключевые слова
<i>Рассмотрен перспективный электрохимический метод формообразующей обработки высокопрочных, жаропрочных, твердых и вязких материалов. Представлены этапы электрохимического процесса по отдельности и модель этих процессов в общем виде</i>	<i>Электрохимический метод обработки, электролиз, комплексное моделирование</i>
	Поступила в редакцию 08.06.2016 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Электрохимическая обработка (ЭХО) металлов включает методы, предназначенные для придания деталям определенной формы, размеров или шероховатости. Осуществляется ЭХО в электролизерах (электролитических ваннах, электрохимических ячейках специальных станков, установок).

Электрохимические способы обработки появились в связи с применением сверхпрочных металлов и других материалов, которые трудно поддаются традиционной обработке. Новые методы оказались эффективными при изготовлении деталей сложной формы, например штампов, деталей малой жесткости или небольших размеров с круглыми отверстиями и щелями, а также обработки в тех случаях, когда механическое воздействие на заготовку либо ограничено, либо режущий инструмент не может быть подведен к обрабатываемой поверхности [1]. Однако более широкое применение данного метода обработки сдерживается недостаточной изученностью процесса.

Электрохимические методы обработки металлов основаны на принципе электролиза. Известно, что если в сосуд с токопроводящей жидкостью ввести твердые проводящие пластинки (электроды) и подать напряжение, возникает электрический ток. Такие токопроводящие жидкости называют проводниками II рода, или электролитами. К их числу относят растворы кислот, щелочей и солей в воде или других растворителях, а также расплавы солей. Носителями тока в электролитах служат положительные и отрицательные ионы, которые движутся соответственно к отрицательному электроду-катоде и положительному электроду-аноду [2]. В зависимости от химической природы электролита и электродов, а также значения напряжения, на металлическом катоде обычно выделяется водород, на аноде происходит растворение металла, которое часто сопровождается выделением кислорода. Это явление и получило название электролиза.

Рассмотрим некоторые виды обработки металлов подробно.

1) Электрохимическое полирование — выравнивание микронеровностей поверхности металла анодным травлением. В результате неравномерного распределения плотности тока происходит интенсивное растворение микровыступов. При этом в микровпадинах и углублениях появляется пассивная пленка, которая препятствует растворению металла. Это приводит к сглаживанию микронеровностей поверхности и появлению блеска. Электрохимическое полирование применяют для снятия мелких заусенцев со штампованных деталей, для декоративной отделки деталей сложной формы [3], а также маркирования изделий. Этот вид обработки позволяет с помощью недорогих и безвредных электролитов производить маркировку изделий любой твердости [4]. Такой метод выбирают, если на металлическую поверхность необходимо нанести графическое или буквенно-цифровое изображение [5]. Основное условие для применения этого вида маркировки — проводимость маркируемого материала.

2) Электрохимическое маркирование — растворение металла при прохождении электрического тока от электрода (клейма) к изделию через слой электролита непосредственно или через смоченную электролитом прокладку с наложенным диэлектрическим трафаретом. В случае применения трафаретов получить четкие границы индексов довольно трудно, поэтому чаще применяют бестрафаретный способ маркирования, который отличается высокой производительностью, простотой оборудования и оснастки, высоким качеством маркировки и отсутствием износа клейма. При этом способе обработки не образуются концентраторы напряжений, что позволяет клеймить изделия из тонкого листа, ажурные детали и детали, подверженные знакопеременным нагрузкам, технология изготовления которых не допускает геометрического и структурного изменения поверхности. Необходимо учитывать, что качество электрохимического маркирования зависит не только от точности соблюдения установленных режимов обработки, но и от состояния поверхности, на которую наносят маркировку [6].

3) Электрохимическая размерная обработка (ЭХРО) основана на принципе локального анодного растворения металлической заготовки при высокой плотности постоянного тока в проточном электролите (рис. 1). Анодное растворение заготовки проводят без контакта между электродами на некотором расстоянии друг от друга, т. е. в межэлектродном зазоре (МЭЗ) путем воздействия электрического поля, конфигурация которого формируется электродом-инструментом. Процесс подчиняется законам электролиза и протекает в небольшом от 0,01 до 0,3 мм МЭЗ.

Явления, протекающие в МЭЗ на границе металла и электролита, представляют собой совокупность взаимосвязанных процессов физического, химического и электрохимического характера. При выключенном источнике постоянного тока электроды в электролите находятся в равновесном состоянии (нейтральном). Для создания условий непрерывного растворения анода (заготовки), происходит смещение потенциала от равновесного значения вследствие подключе-

ния внешнего источника тока. Чем больше смещение, тем интенсивнее протекает электрохимического процесса и тем быстрее растворяется анод.

При электрохимической обработке растворение анода происходит путем окисления и его перехода в ионное состояние с образованием гидратов окислов металлов, которые удаляются потоком электролита. На катоде происходит процесс восстановления с выделением газообразного водорода.

Процесс обработки не сопровождается изнашиванием рабочего инструмента (катада), на обработанной поверхности отсутствуют остаточные напряжения и термические изменения структуры, а обработанная поверхность отличается повышенной коррозионной стойкостью и износостойкостью. Кроме того, этот вид обработки обеспечивает сравнительно высокую производительность и качество обработки поверхности. Линейная скорость съема металла до 5...7 мм/мин.

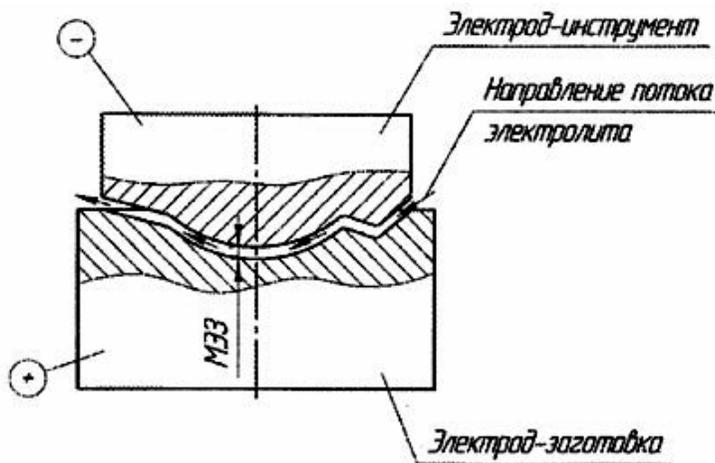


Рис. 1. Схема электрохимической размерной обработки

Далее рассмотрим съем металла при ЭХРО. Если на электроде протекает только один электрохимический процесс, например растворение металла, то его можно описать с помощью первого закона электролиза Фарадея:

$$m = \varepsilon Q, \quad (1)$$

где m — масса материала, растворенного с анода; Q — количество электричества, пропущенное через электролит; ε — коэффициент пропорциональности.

При постоянном токе $Q = I\tau$, здесь I — сила тока; τ — время его прохождения. Тогда зависимость (1) можно записать в виде

$$m = \frac{\varepsilon}{\tau}. \quad (2)$$

Коэффициент пропорциональности также называют электрохимическим эквивалентом. Найдём его по формуле

$$\varepsilon = \frac{An}{F}, \quad (3)$$

где A — атомная масса; n — валентность; F — число Фарадея.

Для решения практических задач необходимо знать скорость линейного растворения, которая позволяет найти скорость подачи инструмента при изготовлении деталей. Если в уравнении (1) массу материала m записать через площадь обрабатываемого участка S и перемещение l электрода-инструмента к детали, то $m = Sl\rho$, где ρ — плотность материала. Силу тока можно выразить через площадь участка S и плотность тока, тогда запишем $I = iS$. Тогда уравнение (2) примет вид:

$$Sl\rho = \varepsilon iS\tau. \quad (4)$$

Если левую и правую части уравнения (4) разделить на время τ , то отношение $l / \tau = v$ будет являться скоростью линейного растворения материала анода:

$$v = \frac{i\varepsilon}{\rho}. \quad (5)$$

Плотность тока, согласно закону Ома может быть выражена через напряжение U и удельную проводимость χ . В расчет принимаем только ту часть напряжения, которая используется для протекания электрохимической реакции без учета потери напряжения на электродах и в токопроводящих цепях:

$$i = \frac{U\chi}{S}. \quad (6)$$

С учетом формул (5), (6) закон анодного растворения можно записать в следующем виде:

$$v = \frac{\varepsilon\chi}{\rho S}.$$

Процесс формообразования при размерной ЭХО происходит за счет анодного растворения металла заготовки под действием электрического тока в среде электролита. Непосредственный контакт между инструментом и заготовкой отсутствует.

В исходном состоянии заготовка и инструмент установлены с межэлектродным зазором в среде электролита (водного раствора хлорида натрия) и соединены с источником тока. Молекулы воды и хлорида натрия дезориентированы в растворе. При включении источника тока заготовка и инструмент поляризуются под действием электрического поля. Молекулы H_2O и $NaCl$ переходят в ионное состояние, и начинается процесс электролиза.

На первом этапе в растворе хлорида натрия молекулы распадаются на катионы натрия Na^+ и анионы хлора Cl^- , а молекулы воды диссоциируют на катионы водорода H^+ и анионы гидроксильной группы OH^- . Электроны перемещаются по электрической цепи анод — источник тока — катод [7].

При электрохимической обработке растворение анода (металла с заготовки) происходит путем его окисления и перехода в ионное состояние с образованием гидратов окислов металлов, которые удаляются потоком электролита. На катоде происходит процесс восстановления с выделением газообразного водорода.

Атомы железа, отдавая электроны в цепь, образуют катионы железа, которые переходят в раствор электролита

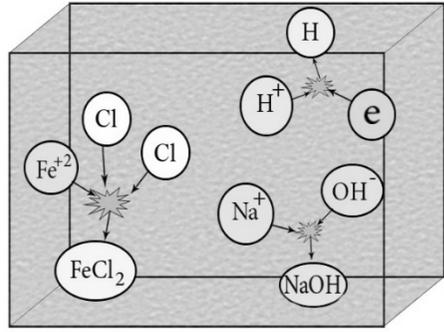
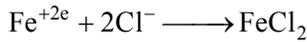


Рис. 2. Первый уровень реакций – взаимодействие ионов



На втором этапе катионы железа, взаимодействуя с находящимися в электролите анионами хлора (рис. 2), образуют хлористое железо:



Ионы натрия и гидроксиды вступают в реакцию, образуя щелочь:

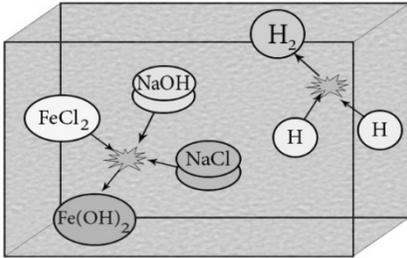
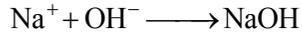
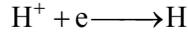
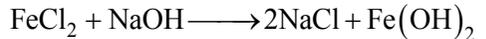


Рис. 3. Второй уровень реакций – солещелочное и газоатомарное взаимодействия

Ионы водорода разряжаются на катоде и образуют атомы водорода:



На третьем этапе хлористое железо вступает в реакцию со щелочью и образует гидрат окиси железа (рис. 3), восстанавливая хлористый натрий:



Атомы водорода соединяются в молекулы и в виде пузырьков газа выходят из раствора:

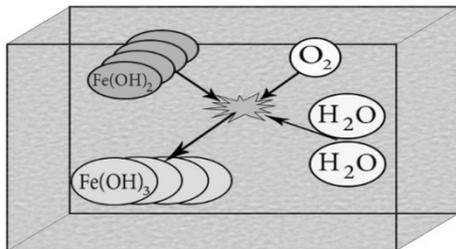
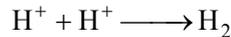
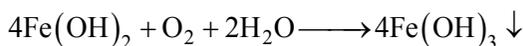


Рис. 4. Третий уровень реакций – гидратизация щелочи

Далее гидрат окиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ под действием кислорода окружающей среды переходит в гид-

рат окиси железа (рис. 4), который плохо растворяется в воде и выпадает в виде осадка:



Общий вид модели электрохимического процесса представлен на рис. 5.

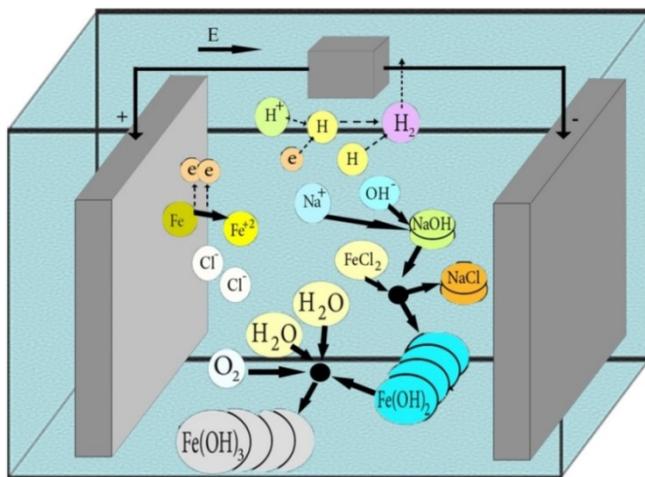


Рис. 5. Модель электрохимического процесса

Моделирование электрохимического процесса применили к водному раствору хлорида натрия. В качестве материала заготовки было выбрано железо, поскольку оно имеет высокую химическо-реакционную способность и обладает достаточной электропроводностью.

Литература

1. Проектирование автоматизированных станков и комплексов. В 2 т. Т. 1 / Под ред. П.М. Чернянского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 331 с.
2. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И., Седыкин Ф.В., Смоленцев В.П., Ямпольский В.М. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2-х т. Т. 1. М.: Высш. шк., 1983. 247 с.
3. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г.Л. Ами-тан, И.А. Байсупов, Ю.М. Барон, Я.И. Бляшко, В.А. Вагин, В.А. Волосатов, Г.С. Кратыш, Г.Д. Лубяницкий, Е.Ф. Немиллов, Н.М. Попов, С.И. Пугачев, Л.А. Ушомирская, А.Я. Фен-кельштейн, А.М. Шелестеев / Под общ. ред. В.А. Волосатова. Л.: Машиностроение, 1988. 719 с.
4. Лившиц А.Л., Кравец А.Т., Мороз И.И., Рош А. Электроэрозионная и электрохимическая обработка. М.: НИИмаш, 1980. 205 с.
5. Иванов В.С. Современные дизайн-технологии // Экономика и производство. 1998. № 10.
6. Смоленцев В.П., Смоленцев Г.П., Садыков З.Б. Электрохимическое маркирование деталей. М.: Машиностроение, 1983. 72 с.

7. *Иванов Д.В.* Электрохимическая обработка машиностроительных деталей // Студенческий вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сб. научно-исследовательских работ студентов. М.: 2004. С. 42–49.

Конькова Анастасия Олеговна — магистрант кафедры «Металлорежущие станки и оборудование», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Д.В. Иванов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и оборудование», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

COMPLEX MODELING OF ELECTROCHEMICAL TREATMENT

A.O. Konkova

konkova@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article examines a promising electrochemical method of shape-generating treatment of high-strength, heat-resistant, hard and ductile materials. In our research we separately show the stages of electrochemical process, as well as the model of these processes generally

Keywords

Electrochemical treatment method, electrolysis, complex modeling

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

References

- [1] Chernyansky P.M., ed. Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov. T. 1 [Automated machines and complexes engineering. Vol. 1]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2012. 331 p. (in Russ.).
- [2] Artamonov B.A., Volkov Yu.S., Drozhalova V.I., Sedykin F.V., Smolentsev V.P., Yampol'skiy V.M. Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki materialov. T. 1 [Electrophysical and electrochemical methods of material processing. Vol. 1]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1983. 247 p. (in Russ.).
- [3] Amitan G.L., Baysupov I.A., Baron Yu.M., Blyashko Ya.I., Vagin V.A., Volosatov V.A., Kratysh G.S., Lubyanskiy G.D., Nemilov E.F., Popov N.M., Pugachev S.I., Ushomirskaya L.A., Fenkel'shteyn A.Ya., Shelestev A.M. Spravochnik po elektrokhimicheskim i elektrofizicheskim metodam obrabotki [Handbook on electrochemical and electrophysical methods of material processing]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1988. 719 p. (in Russ.).
- [4] Livshits A.L., Kravets A.T., Moroz I.I., Rosh A. Elektroeruzionnaya i elektrokhimicheskaya obrabotka [Electrical-discharge and electrochemical processing]. Moscow, NIImash Publ., 1980. 205 p. (in Russ.).
- [5] Ivanov V.S. Modern design-technologies. *Ekonomika i proizvodstvo*, 1998, no. 10 (in Russ.).
- [6] Smolentsev V.P., Smolentsev G.P., Sadykov Z.B. Elektrokhimicheskoe markirovanie detaley [Electrochemical parts marking]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 72 p. (in Russ.).
- [7] Ivanov D.V. Elektrokhimicheskaya obrabotka mashinostroitel'nykh detaley. *Studencheskiy vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov* [Electrochemical processing of machine-building parts. In: Student bulletin of the Bauman MSTU. Collection of student research works]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004. Pp. 42–49 (in Russ.).

Konkova A.O. — Master's Degree student of the Department of Metal-cutting machines and equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — D.V. Ivanov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Department of Metal-cutting machines and equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.