

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Н.Г. Демьянцева*, С.М. Кузьмин**, А.В. Балмасов***

**Ивановский государственный энергетический университет,
ул. Рабфаковская, 34, г. Иваново, 153003, Россия, demyantseva@bk.ru*

***Учреждение Российской академии наук, Институт химии растворов РАН,
ул. Академическая, 1, г. Иваново, 153045, Россия, smk@isc-ras.ru*

****Ивановский государственный химико-технологический университет,
пр. Ф. Энгельса, 7, г. Иваново, 153000, Россия, balmasov@isuct.ru*

Изучено влияние частоты следования импульсов на профиль, образующийся в результате импульсной электрохимической размерной обработки никелевой фольги неизолированным цилиндрическим электродом-инструментом. Введены геометрические критерии для характеристики точности формообразования. Показано, что независимо от метода расчета критерия наблюдается существенное влияние частоты следования импульсов на формообразование. При этом варьирование частоты позволяет найти экстремум критерия, соответствующий наилучшему копированию электрода-инструмента. Установлено, что изменение частоты следования импульсов в первую очередь влияет на область формирования наружного угла обрабатываемого профиля.

УДК 544.653.22

Метод электрохимической размерной обработки (ЭХРО) основан на локальном высокоскоростном анодном растворении металлов [1–5]. При проведении процесса ЭХРО металлов и сплавов решаются следующие задачи: обеспечение высоких скоростей анодного растворения, качества обработанной поверхности и точности формообразования как по форме, так и по размеру. Высокие скорости анодного растворения большинства металлов и сплавов, а также качество образующейся при этом поверхности реализуются путем подбора соответствующих растворов электролитов и режимов электрохимической обработки [6]. В то же время достижение удовлетворительной точности электрохимического формообразования является более трудной задачей. Сложность ее решения связана с тем, что для одновременного обеспечения, например, производительности и точности необходимо соблюдение взаимоисключающих условий. В частности, если для обеспечения высокой скорости ЭХРО применяют электролиты с достаточной электропроводностью и активирующей способностью, то для достижения хорошей точности, наоборот, необходимо использование пассивирующих электролитов со сравнительно невысокой электропроводностью.

Известно несколько методик оценки точности электрохимического формообразования (локализирующей способности ЭХРО). Наиболее широкое применение для оценки локализирующей способности электролитов для ЭХРО нашел логарифмический индекс рассеяния (ЛИР), предложенный Д.Т. Чином [7–9].

Однако величина ЛИР дает характеристику локализации процессов анодного растворения в целом, интегрально. В реальных ячейках величины, которыми определяется ЛИР, зависят как от времени, так и от координат. К тому же величина ЛИР не позволяет рассчитать точность копирования в отдельных сечениях межэлектродного зазора, на углах и выступах обрабатываемой детали.

Данная работа посвящена разработке и анализу геометрических критериев, позволяющих характеризовать точность копирования электрода-инструмента (ЭИ) в условиях проводимого эксперимента. При этом особый интерес представляет анализ влияния частоты импульсного напряжения на формообразование кромочной области обрабатываемой детали.

Установка для проведения процесса ЭХРО описана ранее в [10–12]. Рабочим электродом (РЭ) служили образцы из никелевой фольги толщиной 0,1 мм, размером 1,7 × 1 см. Электрод-инструмент (ЭИ) представлял собой полую иглу из нержавеющей стали с внешним диаметром 2 мм и внутренним диаметром 1 мм, направленную в торец РЭ. Боковая поверхность ЭИ не изолировалась. Процесс ЭХРО проводили в 1 М водном растворе NaNO_3 . Выбор его в качестве электролита обусловлен тем, что локализация процесса при анодной обработке металлов в пассивирующих электролитах значительно эффективней, чем в активирующих [2]. Поляризация рабочего электрода проводилась однополярными импульсами напряжения различной частоты в виде полусинусоиды амплитудой 26 В и скважно-

стью, равной двум, при перемещении ЭИ с регулируемой скоростью. В процессе формообразования осуществлялся проток электролита через ЭИ с линейной скоростью 1,1 м/с.

В результате электрохимического растворения на РЭ образовывалась полость, форму которой анализировали при помощи компьютерной обработки фотографий. Данные использовались для расчета критериев точности. Нами введены следующие безразмерные критерии. Первый (k_s) вычисляется как отношение площади съема (фигура $ABCD$, рис. 1) к площади продольного сечения ЭИ (фигура $EFCD$, рис. 1). Второй критерий (k_l) – как отношение ширины съема на полувысоте (отрезок MN , рис. 1) к диаметру РЭ (отрезок EF , рис. 1). При идеальном формообразовании оба критерия должны стремиться к единице.

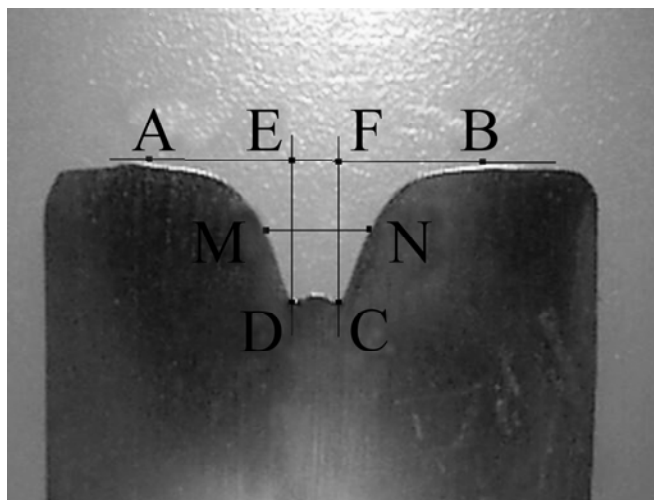


Рис. 1. К расчету критериев формообразования k_s и k_l . Площадь съема ограничена фигурой $ABCD$, прямоугольник $EDCF$ совпадает с положением электрода-инструмента, отрезок MN – ширина съема на полувысоте

Проведенная серия экспериментов показала существенное влияние частоты следования импульсов напряжения на точность формообразования. В диапазоне частот 0,5–10 кГц максимальные и минимальные значения критериев точности отличаются приблизительно в 1,7 раза (рис. 2). При этом критерии точности имеют четко выраженный минимум при частотах, близких к 4 кГц, что соответствует наилучшему формообразованию в условиях эксперимента. Отметим, что экстремальная зависимость точности воспроизведения формы ЭИ от частоты наблюдалась и ранее [10–12] при других параметрах импульсов и другом подходе к описанию точности. Возможно, это явление имеет общий характер.

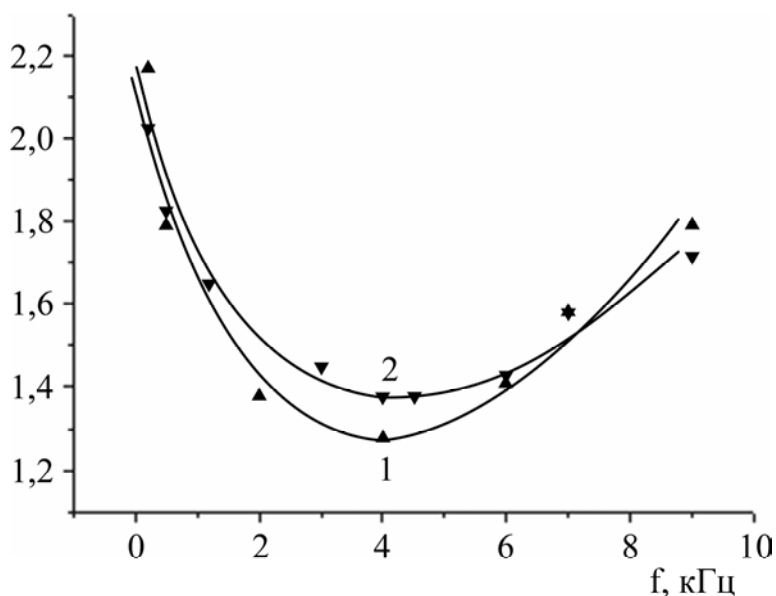


Рис. 2. Зависимости критериев k_s (1) и k_l (2) от частоты следования однополярных полусинусоидальных импульсов напряжения с амплитудой 26 В скважностью 2 (скорость перемещения ЭИ 4,7 мм/мин)

Следует обратить внимание, что при схожести полученных зависимостей величины критериев k_s и k_l от частоты (рис. 2) данные критерии несут разную информацию. Если критерий k_l несет информацию только о «конусности» центральной части профиля, то критерий k_s характеризует профиль в целом, включая область периферии (область съема между точками А и С, рис. 3), где в условиях идеального формообразования должен формироваться угол (кромка). Состояние кромки является существенным показателем качества ЭХРО. Кроме того, при переходе к микро- и нанообработке вклад «кромочного» съема многократно возрастает. Поэтому мы посчитали необходимым более подробное исследование данной области, для чего был введен критерий k_p , характеризующий краевой съем. Вычисляли его как отношение площади краевого съема (сектора ABC , рис. 3) к площади продольного сечения ЭИ (фигура $EFCD$, рис. 1). Зависимость критерия k_p от частоты следования импульсов напряжения также имеет экстремум (рис. 4). Причем для данного критерия положение минимума приходится на область частот 1–2 кГц, а отношение максимального и минимального значений достигает 3,3. Таким образом, частота следования импульсов напряжения оказывает более выраженное влияние на область формирования наружного угла образуемого профиля. Вероятно, именно этим объясняются различия в поведении зависимостей критериев k_s (характеризующего профиль в целом) и k_l (характеризующего только центральную часть профиля) от частоты следования импульсов: минимум для критерия k_s более глубокий и смещен в область более низких частот (рис. 2).

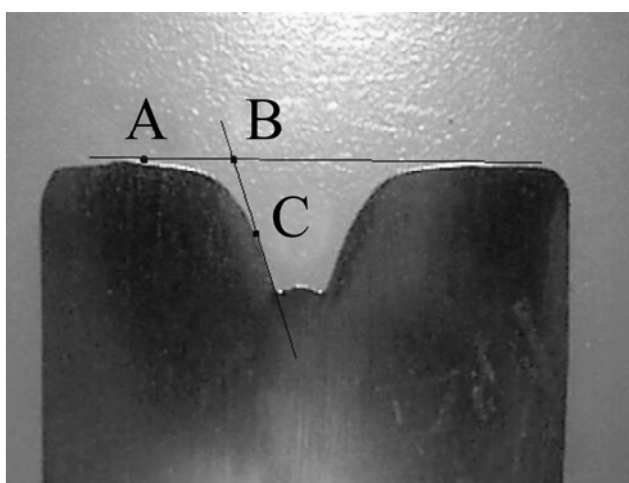


Рис. 3. К расчету критерия k_p . Площадь краевого съема ограничена фигурой ABC

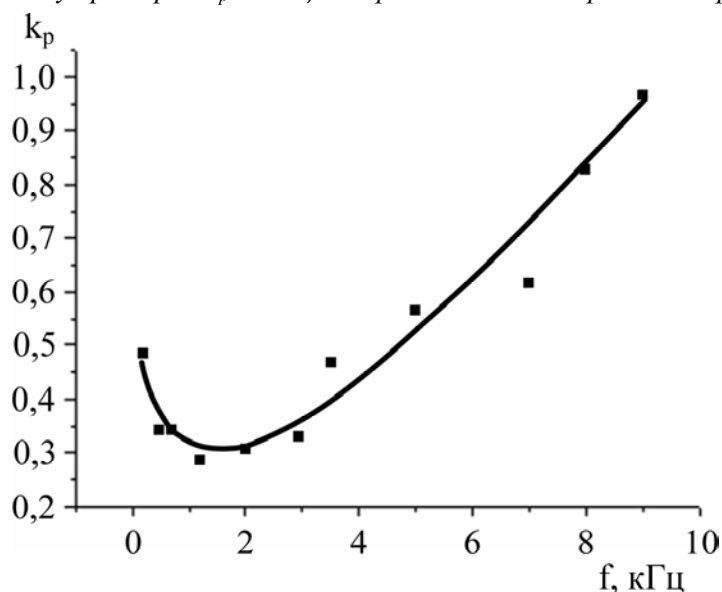


Рис. 4. Зависимость критерия k_p от частоты однополярных полусинусоидальных импульсов напряжения с амплитудой 26 В скважностью 2 (скорость перемещения ЭИ- 0,47 мм/мин)

ВЫВОДЫ

Рассмотрены геометрические критерии, характеризующие точность формообразования в процессе электрохимической размерной обработки никеля. Показано, что независимо от способа вычис-

ления критерия точности формы наблюдается заметное влияние частоты следования импульсов поляризации на формообразование, причем зависимости имеют экстремум, соответствующий наилучшему формообразованию в условиях проводимого эксперимента. Обнаружено, что более существенное влияние частота следования импульсов напряжения оказывает на область формирования наружного угла образуемого профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Седыкин Ф.В. *Размерная электрохимическая обработка деталей машин*. М.: Машиностроение, 1976. 305 с.
2. Петров Ю.Н., Корчагин Г.Н., Зайдман Г.Н., Саушкин Б.П. *Основы повышения точности электрохимического формообразования*. Кишинев: Штиинца, 1977. 152 с.
3. Дикусар А.И., Энгельгардт Г.Р., Петренко В.И., Петров Ю.Н. *Электродные процессы и процессы переноса при электрохимической размерной обработке металлов*. Кишинев: Штиинца, 1983. 206 с.
4. Давыдов А.Д., Козак Е. *Высокоскоростное электрохимическое формообразование*. М.: Наука, 1990. 272 с.
5. Зайдман Г.Н., Петров Ю.Н. *Формообразование при электрохимической размерной обработке металлов*. Кишинев: Штиинца, 1990. 203 с.
6. Королева Е.В., Балмасов А.В., Румянцев Е.М. Поведение вольфрамкобальтового сплава ВК8 при нестационарном режиме анодной обработки. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2006, **49**(4), 52–56.
7. Chin D.-T., Wallace A.J., Jr. Anodic Current Efficiency and Dimensional Control in Electrochemical Machining. *J. Electrochem. Soc.* 1973, **120**(11), 1487–1493.
8. Chin D.-T. Logarithmic Throwing Power Index for Measurements of Throwing Powers. *J. Electrochem. Soc.* 1971, **118**(5), 818–821.
9. Chin D.-T., Wallace A.J., Jr. Electrochemical Machining: A Note on the Throwing Power of Electrolytes. *J. Electrochem. Soc.* 1971, **118**(5), 831–833.
10. Кузьмин С.М., Солунин М.А., Демьянцева Н.Г., Солунин А.М., Шипко М.Н., Лилин С.А. Влияние импульсного тока высокой частоты на анодное растворение никеля. *Электронная обработка материалов*. 2006, **42**(4), 53–59.
11. Демьянцева Н.Г., Солунин М.А., Кузьмин С.М., Солунин А.М., Шипко М.Н., Лилин С.А. Электрохимическое формообразование никеля при импульсной поляризации. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2009, **52**(2), 78–84.
12. Демьянцева Н.Г., Кузьмин С.М., Солунин М.А., Солунин А.М., Лилин С.А. Влияние параметров импульсной поляризации на формообразование никеля. *ЖПХ*. 2010, **83**(2), 249–254.

Поступила 24.08.11

Summary

The pulsed electrochemical machining of nickel foil is studied. The geometrical criteria for characterizing the form accuracy are introduced. It is shown that effect of pulse-repetition frequency on the nickel forming observed regardless of the method of criteria calculation. Moreover, the frequency variation allows finding extremum of criteria, corresponding to the best working conditions for the tool electrode copying. It is established that the pulse repetition rate primarily affects on the angles formation.
