

УДК 621.9.047

Н. И. МАРКЕЛОВА, А. Н. ЗАЙЦЕВ

ВЛИЯНИЕ КАТОДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВЫХОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Изложены основные аспекты проблемы возникновения катодных отложений при электрохимической обработке (ЭХО). Показано, что возникновение катодных отложений в виде фазовых оксидно-гидроксидных пленок и осадков является технологическим ограничением повышения точности копирования, а в ряде случаев не позволяет выполнить некоторые технологические операции электрохимической обработки. Выявлен характер влияния катодных отложений (КО) на выходные технологические показатели ЭХО. *Электрохимическая обработка (ЭХО); электрод-инструмент; катодные отложения; выходные технологические показатели ЭХО*

ВВЕДЕНИЕ

В общей номенклатуре деталей таких отраслей промышленности, как электронная, приборостроительная, медицинская и др., неуклонно возрастает доля прецизионных сложнопрофильных деталей из высокопрочных и твердых материалов, погрешность обработки которых не превышает 10 мкм, а шероховатость обработанной поверхности составляет Ra 0,2... 0,4 мкм и менее. При этом в ряде случаев после обработки недопустимы изменения в поверхностном слое, заусенцы и острые кромки. Примерами такого рода деталей являются малоразмерные детали формообразующей оснастки инструментального производства различных отраслей промышленности (штампы, пресс-формы); детали основного производства приборо- и агрегатостроения (струйные датчики измерения температуры газовых потоков, упругие элементы вибрационных гироскопов); детали топливной системы (форсунки, жиклеры и др.) инжекторных автомобильных двигателей и т. д.

Одним из эффективных методов изготовления такого рода деталей является импульсная биполярная электрохимическая обработка (ЭХО) вибрирующим электрод-инструментом (ЭИ) [1, 2] на малых (3–10 мкм) межэлектродных зазорах и амплитудных плотностях тока более 100 А/см². Однако уменьшение межэлектродного зазора связано с неизбежностью возникновения определенных физических или физико-химических состояний межэлектродной среды и поверхно-

сти электродов, при которых будет невозможно дальнейшее протекание процесса, либо не будут достигнуты заданные выходные технологические показатели. Таким образом, возникают технологические ограничения процесса ЭХО. Примером таких ограничений являются образующиеся на поверхности ЭИ в процессе обработки катодные отложения (КО) [3–8].

Проблема катодных отложений (как нежелательного явления) может быть рассмотрена в следующих аспектах: физико-химическом, технологическом и организационно-производственном.

Физико-химический аспект заключается в том, что возникающие на поверхности ЭИ катодные отложения, во-первых, увеличивают электрическое сопротивление межэлектродного промежутка (МЭП) и, соответственно, повышают энергетические затраты на реализацию процесса и, во-вторых, изменяют электрохимические свойства поверхности ЭИ, оказывая влияние на характер анодного растворения детали.

В технологическом аспекте данная проблема состоит в следующем: во-первых, катодные отложения вызывают изменение размеров профиля ЭИ и не позволяют снизить погрешность формы, что важно для прецизионного (погрешность менее 10 мкм) электрохимического копирования (рис. 1, а); во-вторых, они сужают сечения, образующиеся в боковом МЭП, каналов прокачки электролита, что делает невозможным выполнение ряда технологических операций, например, получение

глубоких отверстий малого диаметра и узких пазов (рис. 1, б, в).

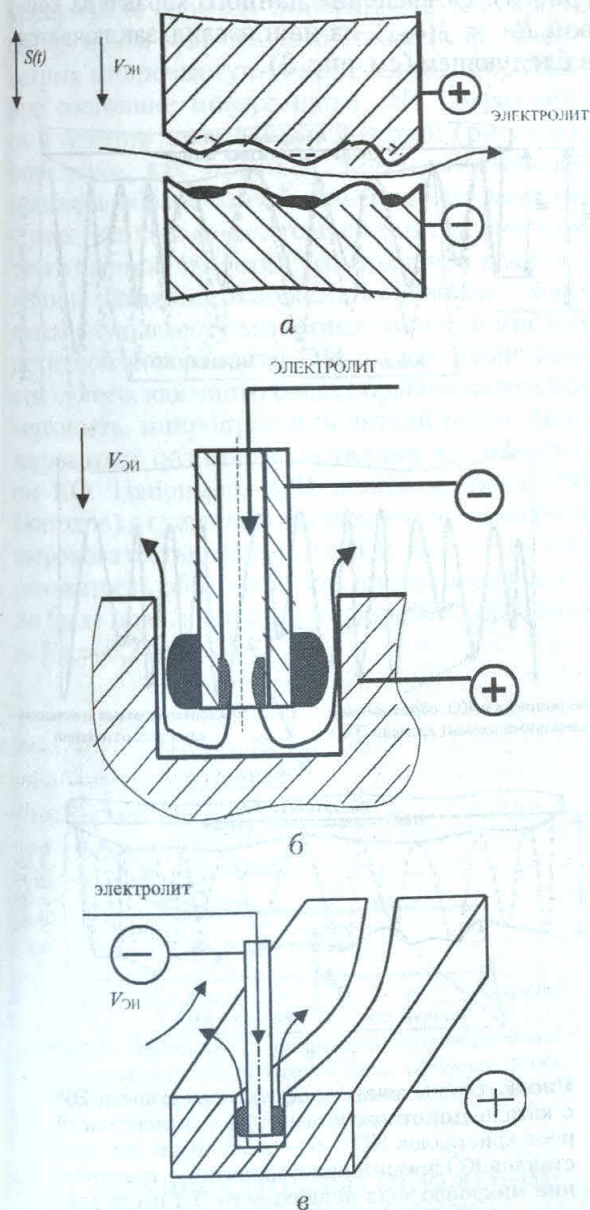


Рис. 1. Схема расположения КО на ЭИ при сложнофасонном копировании (а), при прошивке глубоких отверстий малого диаметра (б) и прорезке узких пазов (в)

Организационно-производственный аспект обусловлен технической сложностью, а в ряде случаев невозможностью контроля величины отложений без прерывания процесса обработки, что не позволяет обеспечить стабильность выходных технологических показателей, особенно в условиях крупносерийного и массового автоматизированного производства.

Механизм образования катодных отложений при импульсной биполярной ЭХО, рав-

но как и способы их оперативного автоматического контроля и удаления, подробно рассматривались нами в работах [6–8]. В настоящей работе мы акцентировали внимание на вопросе, важном для повседневной технологической практики при использовании оборудования, не имеющего автоматических систем контроля и удаления катодных отложений. В этом случае технологу важно конкретно знать специфику влияния КО на выходные технологические показатели, что позволит провести корректное изменение параметров режима или условий обработки.

1. ВЛИЯНИЕ КО НА ПОГРЕШНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Погрешность процесса размерного электрохимического формообразования можно определить по формуле [9]

$$\delta = \delta_m + \delta_z + \delta_p; \quad (1)$$

где δ_m — методические ошибки (ошибки систематического характера): неточность установки и фиксации заготовки, настройка станка, геометрическая неточность станка, погрешность инструмента; δ_z — входные ошибки, обусловленные отклонениями в параметрах исходной заготовки; δ_p — рабочие ошибки, вызванные нестабильностью технологических параметров и влияющие на повторяемость размеров.

Кроме того, погрешность, вызванная нестабильностью технологических параметров δ_p , можно представить следующей формулой:

$$\delta_p = \delta_n + \delta_{ко}; \quad (2)$$

где δ_n — погрешность, обусловленная отклонениями в параметрах процесса ЭХО от номинальных, расчетных значений: температуры электролита, величины МЭЗ, концентрации и рН электролита, перепада давлений на входе и выходе из МЭП и т. д.; $\delta_{ко}$ — погрешность формы, определяемая КО.

Необходимо отметить, что погрешности δ_n , связанные с отклонениями в параметрах режима ЭХО от заданных, достаточно подробно описаны в известных работах, в которых дана их количественная оценка и указаны способы их устранения. В настоящей работе в соответствии с поставленной целью рассматривается только одна из составляющих рабочей погрешности δ_p — это погрешность формы, определяемая катодными отложениями $\delta_{ко}$.

Результаты ранее проведенных исследований показали [7–9], что с увеличением длительности процесса ЭХО на фиксированном режиме обработки происходит монотонный рост КО с последующей их стабилизацией до некоторого определенного установившегося значения $h_{КО}$. В зоне образования катодных отложений происходит уменьшение плотности тока и, соответственно, падает скорость анодного растворения. Таким образом, катодные отложения оказывают влияние на макропрофиль обрабатываемой поверхности (рис. 2, а–в), формируя погрешность формы. Погрешность формы $\Delta_{КО}$ в зависимости от режима и условий обработки может достигать величин $\Delta_{КО} = 5–10$ мкм (рис. 2, в).

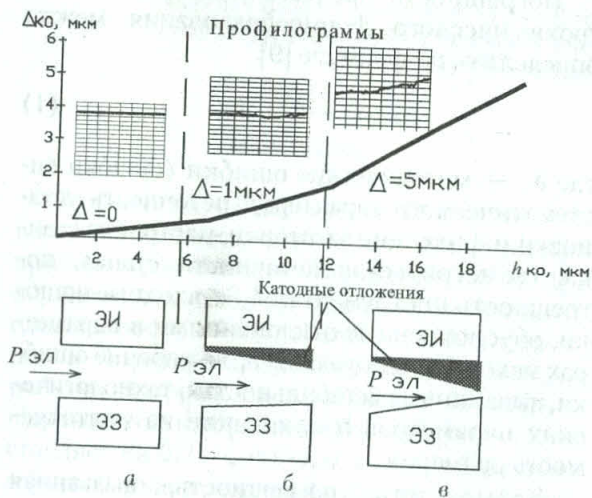


Рис. 2. Зависимость неплоскостности профиля обработанной поверхности $\Delta_{КО}$ от высоты катодных отложений $h_{КО}$

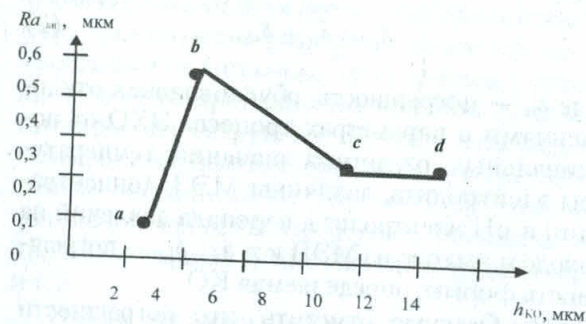


Рис. 3. Зависимость шероховатости Ra обработанной поверхности детали от высоты катодных отложений $h_{КО}$

2. КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Как уже было отмечено, в процессе электрохимической обработки на малых межэлектродных зазорах наблюдается рост и последующая стабилизация величины катодных от-

ложений $h_{КО}$. Примечательно, что шероховатость обработанной поверхности Ra изменяется в этом случае по экстремальному закону (рис. 3). Объяснение данного характера кривой $Ra = f(h_{КО})$, на наш взгляд, заключается в следующем (см. рис. 3).

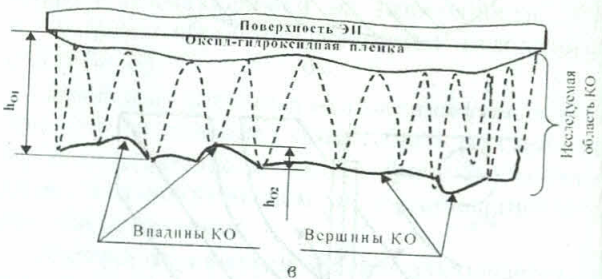
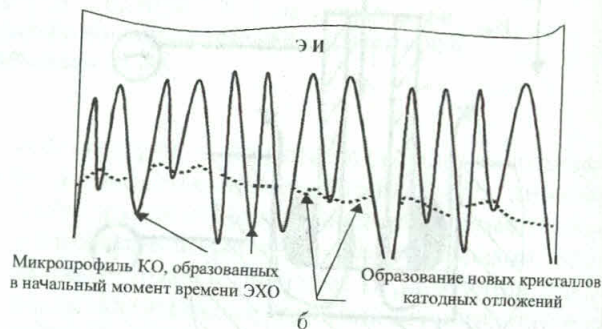
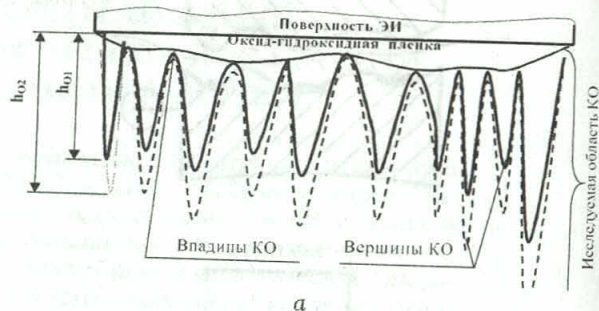


Рис. 4. Схемы микропрофиля поверхности ЭИ с катодными отложениями: а — интенсивный рост кристаллов КО; б — заполнение пор кристаллов КО новыми кристаллами; в — сглаживание микропрофиля поверхности ЭИ после длительной обработки; — — — предшествующий профиль КО; — — — последующий профиль КО

1) Участок «а–б» подъема кривой $Ra = f(h_{КО})$ связан с начальным интенсивным ростом на рабочей поверхности электрод-инструмента (катада) кристаллов катодных отложений (рис. 4, а).

2) На участке «б–с» спада кривой $Ra = f(h_{КО})$ происходит дальнейшее образование кристаллов КО на дне впадин микропрофиля и частичное заполнение их (рис. 4, б). Таким образом, наблюдается выравнивание микрогеометрии катодной поверхности с отложениями, что ведет к снижению шероховатости обработанной поверхности детали.

3) Участок «с-d» стабилизации кривой $Ra = f(h_{\text{КО}})$ характеризуется плотными сплошными катодными отложениями. Микропрофиль рабочей поверхности электрод-инструмента существенно сглажен, не имеет острых микровыступов кристаллов КО. Данное состояние поверхности ЭИ сохраняется в течение длительного времени (рис. 4, в), определяя, как правило, конечный микропрофиль обработанной поверхности детали. Существенным моментом, с технологической точки зрения, является тот факт, что если величина катодных отложений превышает максимальную высоту микронеровностей чистой исходной поверхности ЭИ, то вне зависимости от того, как чисто была обработана эта поверхность, микропрофиль детали будет формироваться под преобладающим воздействием КО. Например, при использовании ЭИ (катодов) с существенно различной исходной шероховатостью $Ra = 0,08$ и $Ra = 0,6$ шероховатость обработанной поверхности детали была практически одинаковой и составила $\sim Ra = 0,2$ (рис. 5).

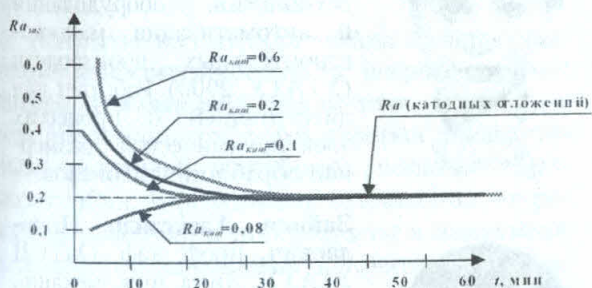


Рис. 5. Зависимость шероховатости обработанной поверхности заготовки $Ra_{\text{заг}}$ от времени обработки при различных исходных шероховатостях катодной поверхности $Ra_{\text{кат}}$.

3. ВЛИЯНИЕ КАТОДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ЭХО

Проведено сравнительное измерение электрических сопротивлений МЭП для электродов-инструментов с чистыми рабочими поверхностями и с содержащими катодные отложения. Измерения проводились при схеме расположения электродов «трубка в трубку» (рис. 6) непосредственно в процессе электрохимической обработки на различных (10...100 мкм) межэлектродных зазорах. Параметры импульсов тока и гидродинамика потока электролита в МЭП выбирались таким образом, чтобы процессы газонаполнения и нагрева электролита оказывали минимальное влияние на сопротивление электролита.

Для оценки электрического сопротивления МЭП производилось осциллографирование импульсов тока и напряжения и рассчитывалось отношение их значений в фазе наибольшего сближения электродов.

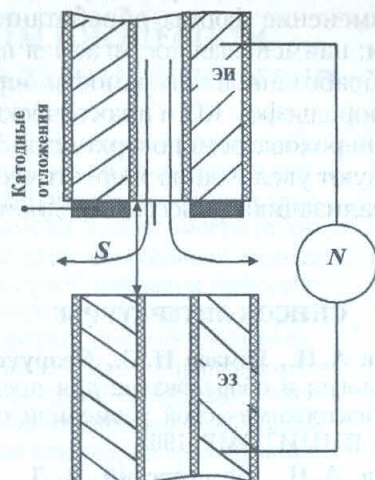


Рис. 6. Схема измерения электрического сопротивления МЭП: N — осциллограф; S — величина межэлектродного зазора

Установлено, что электрическое сопротивление МЭП с образованием катодных отложений увеличивается (рис. 7). В зависимости от величины зазора оно составляет в среднем 10...20%. Приблизительно в такой же пропорции возрастает доля энергетических затрат.

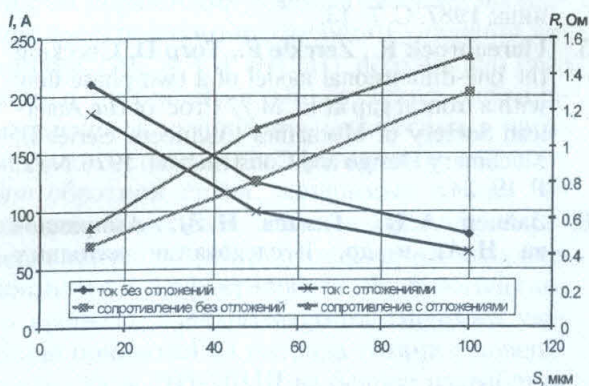


Рис. 7. Зависимость изменения сопротивления МЭП и тока от величины зазора с катодными отложениями на поверхности ЭИ и без них

При использовании, например, источников питания с жесткой вольтамперной характеристикой возникновение КО может привести к падению плотности тока (рис. 7) и уменьшению производительности обработки на 10–15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлен характер влияния катодных отложений на выходные технологические показатели ЭХО. При этом установлено, что при возникновении КО за счет снижения локальной скорости анодного растворения наблюдается изменение формы обработанной поверхности; наименьшая достигаемая шероховатость обработанной поверхности определяется микрорельефом КО и практически не зависит от шероховатости поверхности ЭИ; КО способствуют увеличению энергетических затрат на реализацию процесса в среднем на 10–20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зайцев А. Н., Гимаев Н. С., Безруков С. В.** Технология и оборудование для прецизионной электрохимической размерной обработки. М.: ВНИИТЭМР, 1990.
2. **Зайцев А. Н., Белогорский А. Л., Агафонов И. Л.** Прецизионная электрохимическая многоэлектродная прошивка отверстий в стальной фольге // Тр. 12-го междунар. симп. по электрическим методам обработки. Германия, Лахен, 1998. С. 555–564.
3. **Давыдов А. Д., Козак Е.** Высокоскоростное электрохимическое формообразование. М.: Наука, 1990. 258 с.
4. **Кашеев В. Д., Малофеева А. Н.** Влияние условий электролиза на формирование катодных пленок при электрохимической обработке углеродистых сталей // Электродные процессы и технология электрохимического формообразования: Сб. науч. тр. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 7–13.
5. **Flurenbrock R., Zerckle F., Torp D.** Checking the one-dimensional model of a two-phase flow with a frontal gap at ECM // Proc. of the American Society of Mechanical Engineers. Series B. Machinery Design and Construction. 1976. No 2. P. 19–24.
6. **Зайцев А. Н., Гимаев Н. З., Амирханова Н. А. и др.** Исследование катодных

отложений при импульсной ЭХО сталей вибрирующим электрод-инструментом // Электронная обработка материалов. 2001. № 2. С. 4–12.

7. **Amirchanova N. A., Brusse M., Gimaev N. Z., Zaitsev A. N. et al.** Investigation of cathode sedimentations under pulse ECM of steel with electrode tool vibration // Proc. of the 13th Int. Symp. for Electromachining (ISEM XIII). Bilbao, Spain, 2001. V. 1. P. 313–325.
8. **Зайцев А. Н., Гимаев Н. З., Амирханова Н. А. и др.** Удаление катодных отложений при импульсной электрохимической обработке // Технология металлов. 2001. № 7. С. 25–31.
9. **Иванов Н. И.** К анализу возникновения погрешностей при размерном электрохимическом формообразовании // Электролитические и электрофизические методы обработки материалов: Сб. статей / Тульск. политехн. ин-т. Тула, 1978. 126 с.

ОБ АВТОРАХ



Маркелова Наталья Ивановна, ассист. каф. ОиТСП УГАТУ. Магистр в области технологии, оборудования и автоматизации машиностроительных производств (УГАТУ, 2000). Работает над диссертацией о процессах электрохимической размерной обработки материалов.



Зайцев Александр Николаевич, проф. каф. ОиТСП УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УГАТУ, 1972). Д-р техн. наук по процессам физ.-техн. обработки и САПР (защ. в Воронежск. политехн. ин-те, 1991). Исследования в области процессов электрофизической и электрохимической размерной обработки материалов.