

## ЭФФЕКТ КВАЗИРЕГУЛЯРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Бельцкий госуниверситет им. А. Руссо,  
ул. Пушкина, 38, МД-3100, г. Бельцы, Республика Молдова*

Исследования процесса электроискрового легирования (ЭИЛ) в магнитном поле позволили обнаружить интересное явление квазирегулярной осцилляции лунок (следов) импульсных разрядов, вызываемое чередованием фокусировки–расфокусировки пятна разряда при изменении индукции магнитного поля либо энергии разряда [1]. В связи с этим было высказано предположение, что влияние магнитного поля должно сказываться и на массопереносе в искровом разряде. Эксперименты по многократному воздействию искровых разрядов на металлическую подложку подтвердили существование квазирегулярной осцилляции и устойчивости эффекта воздействия магнитного поля на массоперенос в искровом разряде.

В указанной работе проводились исследования процесса ЭИЛ в магнитном поле с целью выявления эффекта квазирегулярной осцилляции интенсивности массопереноса в искровом разряде для различных по магнитным свойствам материалов (ферромагнитных и диамагнитных).

На первом этапе процесс ЭИЛ изучался с применением электродов из ферромагнитных материалов. Для этого использовали бруски размерами 4 x 4 x 40 мм из никеля, хромникелевого сплава ВЖЛ-14, а также из твердых сплавов на основе карбидов вольфрама ВК8 и ВК20, содержащие соответственно 8 и 20% кобальта, а катодами служили пластинки из Ст. 3 и Ст. 45 с размерами 4 x 15 x 15 мм. ЭИЛ проводилось в режимах с энергией разряда от 0,1 до 1,0 Дж, а напряженность магнитного поля изменялась в пределах 0,0–0,1 Тл.

Изучение кинетики прироста массы катодов при ЭИЛ никелем подтвердило существование эффекта квазирегулярной осцилляции интенсивности переноса материала анода на катод (рис. 1). Как видно из рис. 1,а (кривые 1 и 2), количество перенесенного материала анода на поверхность катода за 2 мин ЭИЛ и при напряженности магнитного поля, наложенного на зону обработки, равной 0,069 Тл, в два раза больше, чем при ЭИЛ в том же режиме в отсутствие магнитного поля. С увеличением напряженности поля всего лишь на 0,006 Тл количество перенесенного материала уменьшается примерно в 2 раза и становится сопоставимым с таким же при ЭИЛ в отсутствие поля (рис.1, кривые 3 и 1). При очередном увеличении напряженности до 0,086 Тл перенос эродированной массы анода на катод вновь увеличивается и снижается при напряженности магнитного поля 0,091 Тл (рис.1, кривая б).

Эффект квазирегулярной осцилляции четко проявляется и для любых других значений энергии разряда; при этом смещаются только точки максимума на кривых прироста массы катода  $\gamma_k = f(t)$ . В зависимости от природы материалов электродов эти точки достигаются при меньшем или большем времени ЭИЛ. Например, в режиме с энергией разряда 0,3 Дж для всех значений напряженности поля в диапазоне 0,0–0,1 Тл точка максимума на кривой  $\gamma_k = f(t)$  достигается на 3-й минуте. В то же время в таком же энергетическом режиме при использовании анодов из хромникелевого сплава ВЖЛ-14 или твердых сплавов ВК8 и ВК20 максимум на кривой  $\gamma_k = f(t)$  достигается примерно на 6-й минуте, что объясняется различием эрозионной стойкости и химической активностью упомянутых материалов.

Рассмотрим случай, когда анод (обрабатываемый электрод) является ферромагнитным материалом (Ni), а катод (Ti) – неферромагнитным. На первый взгляд динамика формирования поверхностного слоя ничем не отличается от такой же при ЭИЛ другими материалами (рис. 2). Однако, если учесть результаты работ [2, 3], в которых установлено, что на начальной стадии ЭИЛ титана никелем

наблюдается эффект сильной эрозии титанового катода, преобладающей над эрозией никелевого анода и продолжающейся до восьми минут обработки, после чего начинается осаждение материала анода, то становится ясным, что магнитное поле оказало существенное влияние на «подавление» эффекта интенсивной эрозии катода.

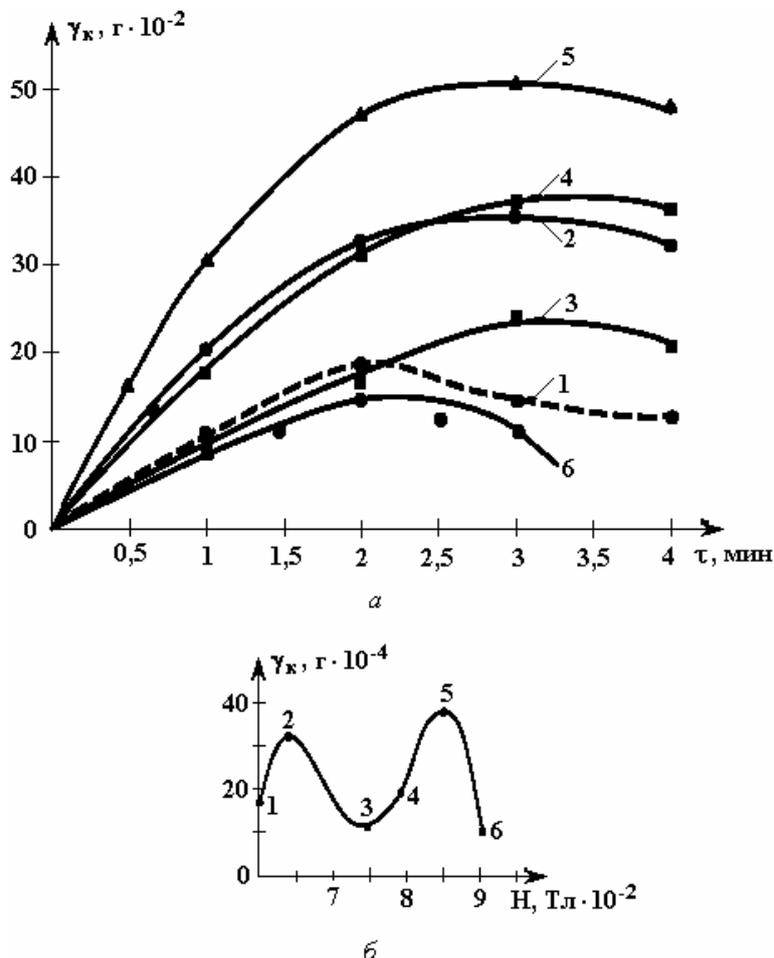


Рис. 1. Изменение прироста массы катода из стали Ст.3 во времени в зависимости от величины напряженности магнитного поля, наложенного на зону ЭИЛ (а), и динамика прироста массы катода при обработке в течение 2 мин для тех же значений напряженности поля В, Тл: 1 – 0; 2 – 0,069; 3 – 0,075; 4 – 0,081; 5 – 0,086; 6 – 0,091. Анод – Ni; энергия разряда – 0,3 Дж

Можно предположить, что в этих условиях при таком сочетании величины энергии разряда и напряженности магнитного поля происходит снижение электронного обмена между материалами анода (Ni) и катода (Ti), вследствие чего облегчается осаждение на поверхность катода никеля.

В практическом плане «подавление» эффекта сильной эрозии титановой подложки при ЭИЛ никелевым анодом очень важно при упрочнении деталей из титановых сплавов, поскольку таким образом предотвращается уменьшение их геометрических размеров. Если в работе [3] указанный отрицательный фактор устранялся предварительной пассивацией поверхности титановой подложки путем обсыкивания графитовым электродом в более низком энергетическом режиме, то в данном случае этот вопрос решается за счет наложения на зону ЭИЛ магнитного поля с напряженностью, которая варьировалась в пределах 0–0,1 Тл. Несмотря на приведенные особенности ЭИЛ титана никелем, и в этом случае под влиянием магнитного поля четко проявляется эффект квазирегулярной осцилляции переноса эрозивной массы анода на катод (рис. 2).

Исследования процесса ЭИЛ в магнитном поле, когда и анод (Ag), и катод (Cu) являются диамагнитными материалами, также позволили получить новые интересные результаты. Во-первых, при прочих равных условиях количество перенесенного серебра на поверхности медного катода при ЭИЛ в магнитном поле отличается незначительно от такового в отсутствие магнитного поля. При некоторых значениях напряженности поля количество перенесенного серебра на поверхности медного катода даже несколько меньше, чем при обычном ЭИЛ без магнитного поля. Однако качество поверхно-

стных слоев, сформированных при ЭИЛ меди серебром, в магнитном поле значительно выше. Следует отметить высокую сплошность и равномерность слоев по толщине, которые достигаются, как отмечалось в [1], за счет лучшего смачивания жидкой фазы под влиянием сил Ампера, возникающих в зоне ЭИЛ в магнитном поле.

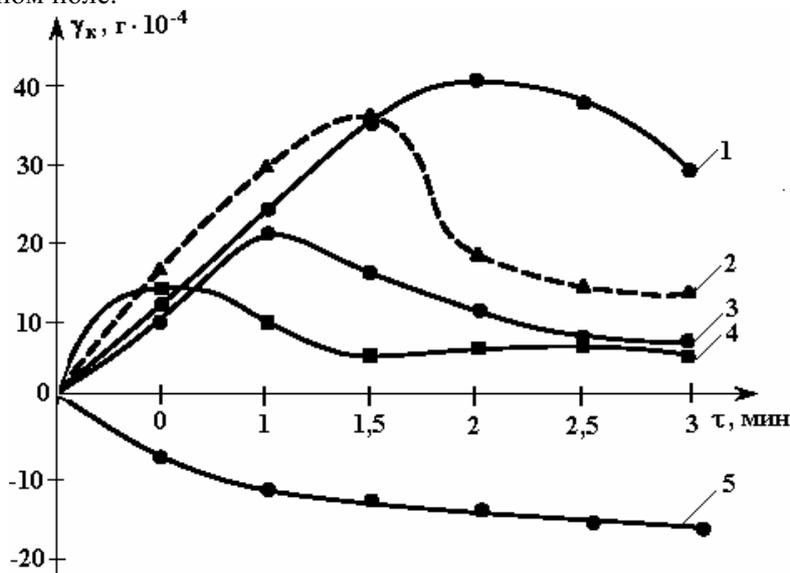


Рис.2. Изменение прироста массы титанового катода во времени в зависимости от величины напряженности магнитного поля, наложенного на зону ЭИЛ В, Тл: 1 – 0,066; 2 – 0,07; 3 – 0,074; 4 – 0,078; 5 – 0

Во-вторых, несмотря на отличие в количестве серебра, перенесенного на катод в магнитном поле, и в отсутствие поля эффект квазирегулярной осцилляции переноса массы анода на катод все же проявляется. При некоторых значениях напряженности поля (0,04; 0,08 и 0,1 Тл) наблюдается нарушение устойчивости процесса серебрения. Внешне это проявляется в изменении формы искры, которая становится бочкообразной, что свидетельствует о расширении канала разряда. В результате наблюдается распыление паровой компоненты эрозионной массы серебряного анода в окружающую среду, ее значительная часть осаждалась на полюсах электромагнита, при помощи которого создавали магнитное поле в зоне ЭИЛ. Очевидно, при упомянутых значениях напряженности магнитного поля происходит расфокусировка электронно-ионного пучка, в результате которой значительная часть ионизированных частиц, паров и жидкой фазы серебра не достигает поверхности катода. В итоге за одно и то же время обработки прирост массы катода растет со скоростью, в два раза меньшей, чем в отсутствие поля. Между тем при напряженности поля, равной 0,07 Тл, происходит фокусировка электронно-ионного пучка, что приводит к пинчеванию канала разряда, а следовательно, к увеличению плотности энергии в нем, что способствует увеличению количества эрозионной массы, перенесенной на катод. Таким образом, наложение магнитного поля на зону ЭИЛ оказывает существенное влияние на процесс массопереноса в искровом разряде и открывает новые возможности для управления процессом формирования покрытия на катоде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов В.В., Душенко В.Ф., Перетятку П.В. О механизме влияния магнитного поля на процесс переноса эрозионной массы анода в искровом разряде // Электронная обработка материалов. 2000. № 5. С. 49–52.
2. Михайлов В.В. Исследование особенностей электроискрового легирования титана и его сплавов. Автореф. дис. Киев, 1976.
3. Михайлов В.В., Бачу К.А., Пасинковский Е.А., Перетятку П.В. К вопросу электроискрового легирования титана и его сплавов // Электронная обработка материалов. 2006. № 3. С.106–111.

Поступила 06.03.07

## Summary

The effect of quasiregular oscillation of mass transfer intensity under electric spark doping in the magnetic field has been found. The ESD process has been studied using materials with different magnetic properties as electrodes. A possibility to control the process of covering formation on the cathode by changing the magnetic field induction has been shown.