

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

**Н. М. Чигринова¹, В. Е. Чигринов¹,
А. А. Радченко², С. И. Ловыгин²**

*¹Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, тел.: (+375 17) 293-95-81, (+375 17) 292-42-53,
e-mail: chygrynova@yandex.ru*

*²Институт сварки и защитных покрытий, Минск, Беларусь,
тел.: (+375 17) 293-98-07, (+375 17) 332-16-92*

Одним из наиболее эффективных методов создания покрытий различного назначения является интегральная технология электроискрового легирования (ЭИЛ) с дополнительным ультразвуковым воздействием (УЗВ) [1]. Такое воздействие осуществлялось вибрирующим с ультразвуковой частотой легирующим анодом, обуславливающим активацию обрабатываемого материала, сопровождаемую увеличением его внутренней энергии [1–4]. Это приводит к ускорению физико-химических взаимодействий, процессов массопереноса в системе анод–катод. При их виброударном высокочастотном контактировании на катод-детали формируется тонкий приповерхностный слой пластически деформированного металла, скорость диффузии атомов легирующих элементов в котором увеличена, что интенсифицирует процесс насыщения ими поверхностного слоя и изменяет структурно-фазовое состояние формируемого покрытия. Вследствие снижения сопротивления металла пластическому течению под ультразвуковым воздействием [5] и многочисленных виброударов по поверхности процесс формирования покрытия методом ЭИЛ происходит более стабильно, с устойчивым и активным массопереносом, в результате чего полученное покрытие имеет большую толщину и более высокую равномерность.

Самое активное участие в процессе образования топографии поверхности формируемого покрытия принимают проэродированные частицы анода, состав которых также вносит существенные коррективы в характер и интенсивность эрозии, а значит, и в изменение размерных параметров покрытий.

Для успешного функционирования изделий в условиях интенсивного абразивно-механического износа, знакопеременных нагрузок, агрессивных сред и высоких (более 1100 К) температур защитные слои на их рабочих поверхностях создавались при их обработке многокомпонентными анодами, полученными методами порошковой металлургии: композиции на основе $\text{Co-WC-Cr}_3\text{C}_2$, WC-TiC-Co-0,4C , $\text{Fe-Ni-Si(2\%)-Cr}_3\text{C}_2$, Ni-Cr-Al , Ni-Cr-Al-Co .

Экспериментальные исследования. При разработке методик проводимых экспериментов учитывали физическую сущность и основные особенности метода электроискрового легирования, определяющие характер и интенсивность массопереноса, ответственного за равномерность формируемых слоев, а также составы легирующих анодов на основе порошковых композиций.

Экспериментально изучалось изменение размерных параметров покрытий после обработки поверхности стального катода указанными порошковыми композициями с однократным ЭИЛ+УЗВ и двукратным УЗВ+ЭИЛ+УЗВ ультразвуковым воздействием при изменяющейся частоте УЗ. В качестве размерных характеристик приняты толщина и равномерность формируемого слоя.

Равномерность определяли посредством замеров после нанесения на поверхность обработанного образца равномерной сетки с величиной ячейки 5 мм. После математической обработки данных [6] характер изменения толщины и равномерности покрытий, полученных при легировании стального образца изучаемыми электродами при изменяющихся режимах электро-механического воздействия, представлен на рис. 1 и 2.

Анализ полученных графиков показывает, что наименьший разброс по толщине наблюдается, если фиксировать изменение толщины по горизонтали полученных покрытий.

Наибольший разброс отмечается при диагональном измерении толщины покрытия (рис. 1). При этом наиболее стабильно

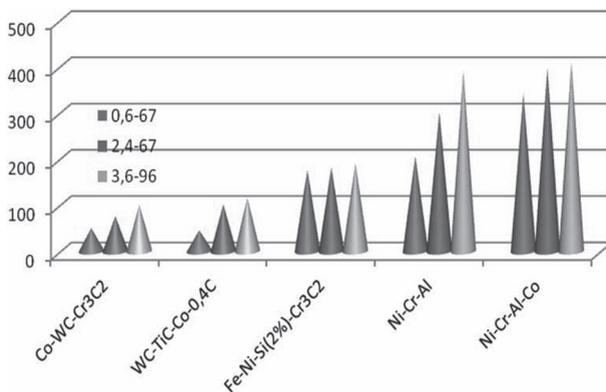


Схема ЭИЛ + УЗВ, частота УЗВ 15 кГц

Рис. 1. Изменение толщины покрытий, полученных при легировании стального образца изучаемыми электродами при изменяющихся режимах электро-механического воздействия Δ , мкм

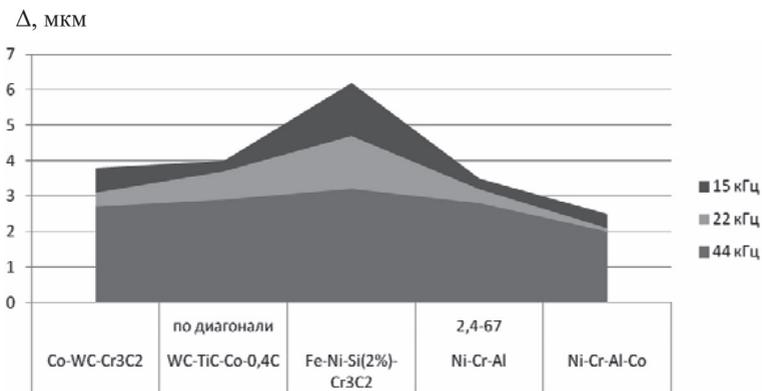


Схема ЭИЛ + УЗВ, режим ЭИЛ: I = 2,4 А, U = 67 В

Рис. 2. Зависимость отклонения от равнотолщинности покрытий, сформированных изучаемыми электродами в оптимальном диапазоне режимов ЭИЛ, от частоты ультразвуковой обработки и состава легирующего анода

процесс ЭИЛ+УЗО протекает при легировании стального образца стандартным твердосплавным электродом на основе титано-вольфрамового сплава и интерметаллидными порошковыми композициями на основе никеля, хрома и алюминия.

Обработка построенных графиков позволила сделать следующий вывод: наименьший разброс данных по толщине покрытия, т.е. наиболее равномерное покрытие, получают при ультразвуковой частоте 44 кГц при использовании всех изучаемых анодов. На рис. 3 приведен график отклонения от равномерности покрытий, сформированных изучаемыми электродами согласно схеме ЭИЛ+УЗО с различной частотой УЗ-воздействия, подтверждающий сделанный вывод. Аналогичная серия экспериментов была проведена при легировании стальных образцов тройным интегральным методом УЗО+ЭИЛ+УЗО.

Результаты математической обработки полученных данных показаны на рис. 3 и 4.

Результаты проведенных серий экспериментов по влиянию режимов интегральной технологии ЭИЛ с УЗВ, технологии частоты и интенсивности ультразвукового воздействия и составов легирующих анодов на размерные характеристики создаваемых данными электродами покрытий показали стабилизирующую

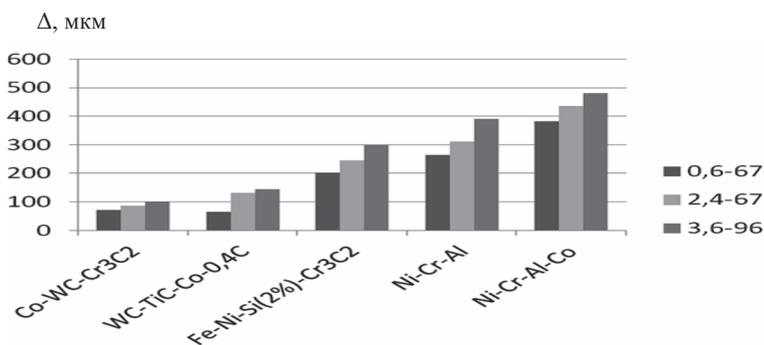


Схема УЗВ + ЭИЛ + УЗВ, частота УЗВ 44 кГц

Рис. 3. Изменение толщины покрытий, полученных при легировании стального образца изучаемыми электродами при меняющихся режимах электрохимического воздействия

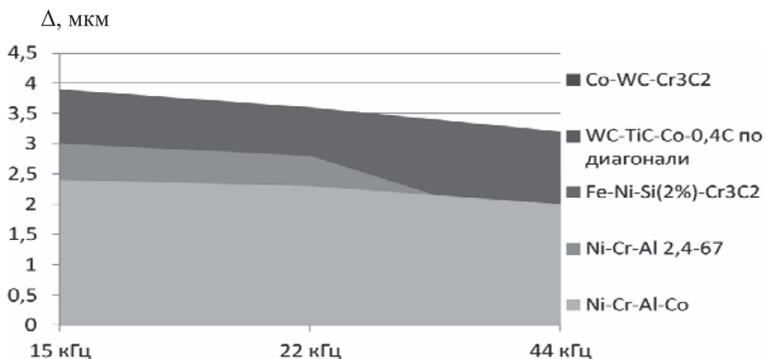


Схема УЗВ + ЭИЛ + УЗВ, режим ЭИЛ: $I = 2,4 \text{ А}$, $U = 67 \text{ В}$

Рис. 4. Зависимость отклонения от равнотолщинности покрытий, сформированных изучаемыми электродами в оптимальном диапазоне режимов ЭИЛ, от частоты ультразвуковой обработки и состава легирующего анода

роль ультразвука в процессе формирования равнотолщинных покрытий.

Оптимальное сочетание перечисленных параметров отмечается после тройного УЗВ+ЭИЛ+УЗВ. Установлено, что двойное воздействие ЭИЛ+УЗВ с изменением интенсивности ультразвуковой обработки от 15 до 44 кГц меньше влияет на размерные характеристики покрытий.

При однократном ультразвуковом воздействии частотой 15 кГц разница в величине потери массы на минимальном и максимальном режимах обработки составляет 33 %. При возрастании электрических параметров ЭИЛ толщина покрытий всех составов больше. Более интенсивный массоперенос происходит при использовании более хрупких легирующих порошковых анодов на основе интерметаллидов при работе в среднем диапазоне режимов ЭИЛ $I = 2,4 \text{ А}$ и $U = 67 \text{ В}$ на частоте УЗ 22 кГц.

Повышение интенсивности ультразвукового воздействия от 15 до 44 кГц обеспечивает сглаживание микронеровностей формируемого рельефа и покрытия получают более равномерными по толщине (максимальная величина привеса наблюдается в диапазоне жестких режимов ЭИЛ ($I = 3,6 \text{ А}$ и $U = 96 \text{ В}$)).

Хорошо согласуется с полученными ранее результатами вывод о том, что именно интенсивность УЗВ и частота ультразвуковой обработки оказывают доминирующее воздействие на кинетику и интенсивность массопереноса и формирующийся рельеф поверхности покрытий. Однако при этом прямой зависимости более равномерного нарастания толщины слоя при увеличении частоты УЗ не наблюдается. Так, установлено, что при использовании в качестве легирующих анодов хрупких интерметаллидных композиций УЗВ на самой высокой из изучаемых частот (44 кГц) более слабо влияет на изменение рельефа поверхности – отклонения от среднего уровня толщины самые высокие.

Тройная обработка УЗВ+ЭИЛ+УЗВ обеспечивает более стабильную, но существенно меньшую эрозию легирующего анода и более равномерный массоперенос во всем диапазоне режимов ЭИЛ и частот УЗ. При обработке поверхности с частотой УЗВ 15 кГц смена режимов ЭИЛ практически не сказывается на потере массы легирующего анода;

Разница в величине потери массы на минимальном и максимальном режимах УЗВ+ЭИЛ+УЗВ при 22 и 44 кГц заметно больше, чем при частоте 15 кГц, и самый активный массоперенос зафиксирован при обработке на жестких режимах ЭИЛ $I = 3,6$ А и $U = 96$ В.

Литература

1. *Chigrinova, N.* Theoretical model of the engineering of metal surfaces by microplasma alloying with the alternative intensity of the mechanical impact / N. Chigrinova // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2010. – Vol. 46, N 1. – P. 21–261.
2. *Chigrinova, N. M.* Physical simulation of heat and mass-transfer in microplasma and spark processes with various ambiances / N. M. Chigrinova // *Eleventh International Workshop on New Approaches to High-Tech: Nano Design, Technology, Computer Simulations*, Bayreuth, Germany, Sept 17–21, 2007. – Bayreuth, 2007. – Vol. 11. – P. 1153–1156.
3. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций: в 2 т. / В. Ф. Мазанко [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005. – Т. 1. – 339 с.
4. *Lawn, B. R.* Indentation: Deformation and fracture processes / *Strength Inorg. Glass*. / R. Brian Lawn // *Proc. NATO Adv. Res. Workshop*, Algarve, March 21–25, 1983. – London, 1985. – P. 67–86.