

Рисунок 1 – Характерная структура кластера (а) и морфология углеродного волокна (б). Данные РЭМ

Исследования методом РЭМ свидетельствуют о возможности существенного изменения морфологии поверхностного слоя УВ обработкой ЛИ. Так, даже при однократном импульсе воздействия поверхностный слой фрагмента УВ не только приобретает развитый нанорельеф с размером составляющих компонентов 10-100 нм, но и образуются объемные дефекты строения, обусловленные разрушением волокна под действием процессов абляции и термического удара. При увеличении интенсивности энергетического воздействия путем увеличения числа импульсов до 5 или одновременного увеличения энергии наполнителя до  $U = 900$  В наблюдается развитие рельефа поверхностного слоя с образованием выраженных участков плавления, абляции и осаждение продуктов абляции с образованием кластерных структур. Модифицированию с применением лазерного излучения могут быть подвергнуты как волокнистые полуфабрикаты, так и дисперсные фрагменты, и тканевые полуфабрикаты, широко применяемые в технологии композитов.

#### Список литературы

1. Нанокпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения: монография / С.В. Авдейчик [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 400 с.
2. Машиностроительные фторкомпозиты: структура, технология, применение: монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В. А. Струка. – Гродно: ГрГУ имени Я. Купалы, 2012. – 339 с.

УДК 621.357.7

### ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ СПЛАВА ОЛОВО-ВИСМУТ

Василец В.К., Кузьмар И.И., Хмыль А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

E-mail: tbranz5@gmail.com

**Abstract.** According to the RoHS directive, in the EU the use of a number of hazardous materials is prohibited, including lead in the materials used in the manufacture of electronic equipment. The results of research kinetics of the Sn-Bi lead-free coatings, electrodeposited under the influence of ultrasonic, were demonstrated.

В электрохимической практике для интенсификации процесса электроосаждения применяются ультразвуковые колебания (УЗК), позволяющие повысить скорость обновления электролита у катода. Для обоснования использования УЗК при нанесении покрытий сплавом олово-висмут необходимо исследовать кинетику электродных процессов. Изучение быстропротекающих электрохимических процессов на границе «электрод-

электролит» методом вольтамперометрии позволяет выполнить эти задачи и спрогнозировать пути улучшения качества покрытий. Для исследований был использован электролит следующего состава: сульфат олова  $SnSO_4$  (50 г/л); висмут азотнокислый  $Bi(NO_3)_3$  (1,4 г/л); кислота серная  $H_2SO_4$  (125 г/л); неонол АФ-9-10 (2-8 г/л); добавка ЦКН-32 (2 г/л). Температура электролита – 18...25 °С. Для проведения исследования кинетики применялись:

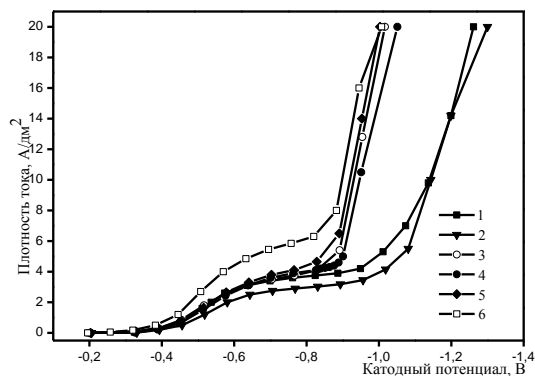


Рис. 1 – Поляризационные характеристики электроосаждения сплава олово-висмут при различных условиях (скорость развертки 5 мВ/с):

- 1 – без перемешивания; 2...6 – с УЗК:
- 2 –  $I=0,13 \text{ Вт/см}^2$ ; 3 –  $I=0,58 \text{ Вт/см}^2$ ;
- 4 –  $I=0,90 \text{ Вт/см}^2$ ; 5 –  $I=1,80 \text{ Вт/см}^2$ ;
- 6 –  $I=2,10 \text{ Вт/см}^2$

сти ультразвука вызывает деполяризацию катодного процесса и интенсифицирует процесс электролиза, повышая рабочую плотность тока. Максимальное воздействие на процесс разряда оказывает введение в электролит ультразвуковых колебаний интенсивностью 2,10 Вт/см<sup>2</sup>. В этом случае потенциодинамическая кривая выделения сплава смещается в сторону более электроположительных значений относительно режима электролиза без применения каких-либо воздействий на величину порядка 4-66,5 мВ при плотности тока 0,5–2,5 А/дм<sup>2</sup> и на 254-379 мВ при плотности тока 2,5–20 А/дм<sup>2</sup>. Величина предельной плотности тока повышается на 2,5 А/дм<sup>2</sup> при воздействии высокого значения интенсивности УЗК. Стоит отметить, что при высоких интенсивностях ультразвука и длительном осаждении отмечается некоторое повышение температуры электролита. Электролиз с применением более низких интенсивностей ультразвука (0,58, 0,90, 1,80 Вт/см<sup>2</sup>) также приводит к деполяризации процесса выделения сплава. Так, при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup> деполяризация составляет 2–5 мВ, 10 А/дм<sup>2</sup> – около 200 мВ. Таким образом, активирование поверхности ультразвуком с интенсивностью выше 0,58 Вт/см<sup>2</sup> приводит к тому, что значение второго предельного тока значительно возрастает, что позволяет вести электролиз при более высоких плотностях тока и тем самым интенсифицировать процесс.

Для снятия катодных поляризационных кривых (КПК) в нестационарных условиях одновременно регистрировались минимальное  $E_{min}$  и максимальное  $E_{max}$  значения катодного потенциала. Установлено, что УЗК в сочетании с импульсным током высокой частоты (рис. 2б) заметно влияют на кривые  $i(E_{min})$ . Во всем диапазоне исследуемых амплитудных плотностей тока отмечается значительное смещение кривых  $i(E_{min})$  в более электроположительную сторону (при 3 А/дм<sup>2</sup> на 80 мВ, при 6 А/дм<sup>2</sup> на 339 мВ). До значения плотности тока 6 А/дм<sup>2</sup> поляризационные кривые, полученные при воздействии ультразвука различной интенсивности, практически совпадают. Кроме того, до 4 А/дм<sup>2</sup> КПК  $i(E_{max})$ , полученные при воздействии ультразвука различной интенсивности, совпа-

Высокочастотный источник питания гальванической ванны импульсно-реверсным током ИП 15-5 в комплекте с управляющей ЭВМ; цифровой осциллограф RIGOL DS1052E; потенциостат ПИ-50-1.1, программатор ПР-8, ультразвуковая ванна.

Исследование кинетических закономерностей процесса электролиза постоянным током показало, что при интенсивности колебаний 0,13 Вт/см<sup>2</sup> потенциодинамическая кривая выделения сплава (рис. 1, кривая 2) смещается в более электроотрицательную сторону на величину до 255 мВ (при 3 А/дм<sup>2</sup>), что затрудняет процесс электролиза. Дальнейшее увеличение интенсивности

дают и с поляризационными кривыми, сформированной без воздействия УЗК. При низкой частоте (1 Гц) тока поляризационные характеристики  $i(E_{max})$  также совпадают при амплитудной плотности тока до  $5 \text{ А/дм}^2$ , а характеристики  $i(E_{min})$  – при всех значениях плотности тока (рис. 2а). Далее с ростом интенсивности УЗК площадка предельного тока уменьшается, форма КПК постепенно сглаживается.

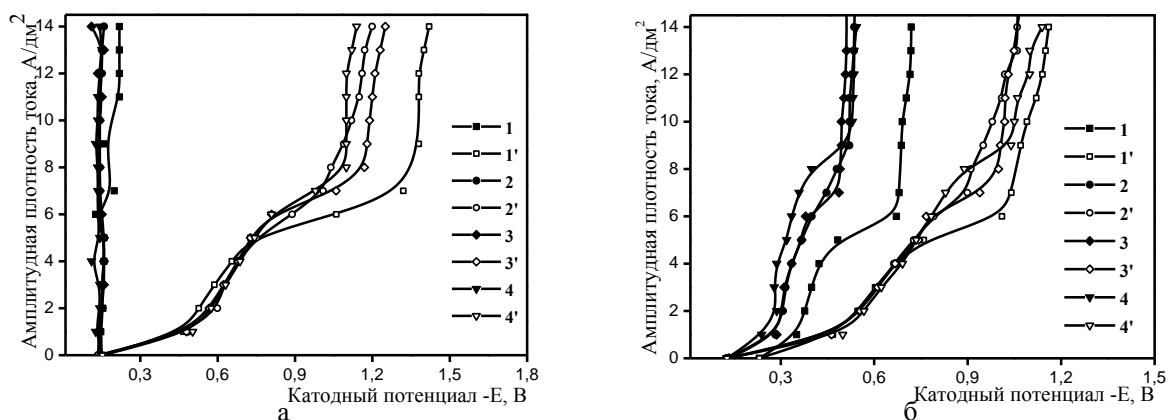


Рисунок 2 – Влияние ультразвуковых колебаний на КПК при электроосаждении сплава олово-висмут импульсным током (а –  $f=1 \text{ Гц}$ ,  $q=2$ ; б –  $f=1000 \text{ Гц}$ ,  $q=2$ ):  
 1 – без УЗК,  $i(E_{min})$ ; 1' –  $i(E_{max})$ ; 2 – УЗК  $I=0,58 \text{ Вт/см}^2$ ,  $i(E_{min})$ ; 2' –  $i(E_{max})$ ;  
 3 – УЗК  $I=0,90 \text{ Вт/см}^2$ ,  $i(E_{min})$ ; 3' –  $i(E_{max})$ ; 4 – УЗК  $I=2,10 \text{ Вт/см}^2$ ,  $i(E_{min})$ ; 4' –  $i(E_{max})$

Установлена взаимосвязь между условиями и характером катодной поляризации процесса электроосаждения сплава олово-висмут, которая имеет существенное значение для практики электролитического осаждения паяемых покрытий. Показано, что импульсный электролиз совместно с ультразвуковыми колебаниями не изменяет механизм разряда ионов олова и висмута в сернокислом электролите, однако абсолютное значение скоростей электродных реакций при импульсном электролизе выше, чем при стационарном режиме. Анализ КПК демонстрирует, что область катодных плотностей тока в импульсе, при которых покрытия сплавом олово-висмут получают хорошего качества, составляет: при скважности  $q=2 - i_k=1 \dots 5 \text{ А/дм}^2$  (при более высокой скважности – до  $10 \text{ А/дм}^2$ ), с использованием УЗК –  $i_k=1 \dots 8 \text{ А/дм}^2$ . Использование полученных экспериментальных результатов позволяет обоснованно выбрать оптимальный режим получения покрытий сплавом олово-висмут, а также многослойных покрытий с заданными эксплуатационными свойствами.

УДК 691.32

### ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ БЕТОНОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТ

Бондаренко С.Н. канд.хим.наук, доцент, Васильева Е.И., аспирант  
 Белорусский национальный технический университет  
 E-mail: Kukaburo1@mail.ru

**Abstract.** *Recycled asphalt pavement (RAP) is the removed and reprocessed pavement material containing asphalt and aggregate. The use of RAP in asphalt pavement has become a common practice. Little research has been done to examine the potential of incorporating RAP into concrete. Since RAP contains asphalt, it is very likely that the toughness of concrete made with RAP could be improved. In the present study, the mechanical properties of RAP incorporated Portland cement concrete were investigated through laboratory experiments. The results from this study indicated that RAP could be incorporated into Portland cement concrete without*