

устройстве для двусторонней обработки двояковыпуклых линз, смонтированном на базовом станке мод. БПД-100. Выполненные теоретико-экспериментальные исследования закономерностей двусторонней обработки двояковыпуклых линз позволяют сделать следующие выводы:

а) из наладочных параметров рычажных шлифовально-полировальных и полировально-доводочных станков для управления процессом формообразования наиболее выгодно изменять амплитуду возвратно-вращательного перемещения инструмента и его диаметр.

б) с целью уменьшения величины локальных погрешностей на поверхности линзы такие наладочные параметры технологического оборудования, как скорости вращения входного звена его исполнительного механизма и детали, следует устанавливать минимальными. При этом для

усиления съема припуска в центральной зоне обрабатываемой поверхности необходимо использовать диаметр инструмента $d_{и} = (0,8 - 0,85)d_{д}$, а амплитуду его колебательных движений L назначать $(0,6 - 0,62)d_{д}$. Для более интенсивной обработки периферии детали целесообразно применять $d_{и} = (0,96 - 1,0)d_{д}$ и $L = (0,77 - 0,8)d_{д}$.

1. Бардин А.Н. Технология оптического стекла. М., 1963.
2. Устройство для одновременной двусторонней обработки оптических деталей с выпуклыми поверхностями: пат. 9420 РБ, МПК В24В 13/00 / А.С. Козерук, М.И. Филонова, В.Ф. Климович, И.В. Рутик, Е.Н. Горбаченя, опубл. 2007.06.30.

УДК 621.357.7

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Хмыль А.А., Кушнер Л.К., Кузьмар И.И., Василец В.К., Дежкунов Н.В.

УО «БГУИР»

Минск, Республика Беларусь

В современной технологии радиоэлектронного приборостроения широко используются функциональные электрохимические покрытия. Однако многие существующие процессы их формирования на постоянном токе малопродуктивны. В электрохимической практике для интенсификации процесса электроосаждения успешно применяются ультразвуковые колебания (УЗК) низкой частоты, что позволяет повысить скорость обновления электролита у катода, вследствие чего увеличивается коэффициент диффузии ионов и уменьшается толщина диффузионного слоя, что приводит к значительному увеличению предельной плотности тока [1].

Представлены результаты исследования влияния ультразвука различной интенсивности на функциональные свойства никелевых покрытий, модифицированных частицами ультрадисперсного алмаза (УДА), и покрытий сплавом олово-висмут.

Электроосаждение и контроль режимов электролиза осуществляли с применением разработанных в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники высокочастотного источника питания гальванической ванны импульсно-реверсным током ИП 15-5 и ультразвуковой экспериментальной установки, включающей генератор УЗГ53-22 с пьезокерамическим излучателем, работающей на частоте 38 кГц и обеспечивающей акустическую мощность 15 Вт и интенсивность УЗК до 2,1 Вт/см² (рисунок 1) [2].

Электроосаждение никелевых покрытий проводили в электролите Уоттса. Введение в электролит предварительно диспергированной в ультразвуке суспензии УДА позволяет формировать композиционные электрохимические покрытия (КЭП) с содержанием дисперсной фазы до 1,2 масс.%. Покрытие сплавом олово-висмут формировали из сульфатного электролита.

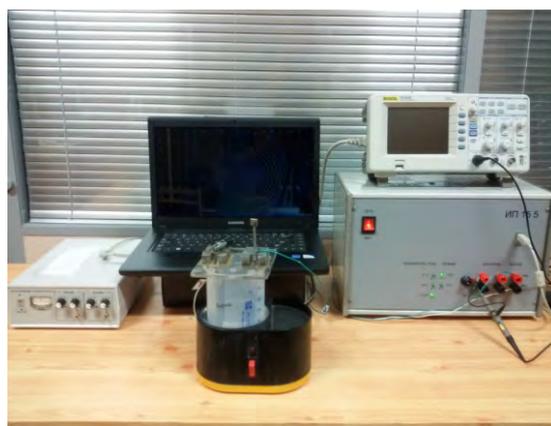


Рисунок 1 - Программно-аппаратный комплекс, включающий управляющий компьютер, программно управляемый источник стабилизированного импульсного тока (напряжения), осциллограф и макет ультразвуковой ванны

Формирование никелевых КЭП в ультразвуковом поле позволило повысить допустимую плотность тока и равномерность, устранить пит-

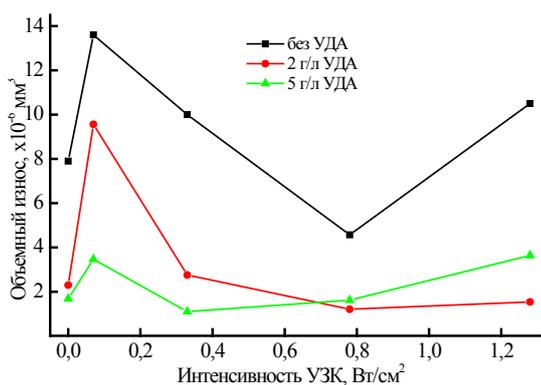
тинг, уменьшить размер зерна и наводороживать осадков.

Помимо того, что ультразвук позволяет качественно диспергировать и снизить агломерацию наночастиц, использование его при электроосаждении способствует инкорпорации и более равномерному распределению хорошо диспергированных частиц в покрытии. Осаждение в ультразвуковом поле приводит к получению мелкокристаллических и более однородных по размеру зерна осадков.

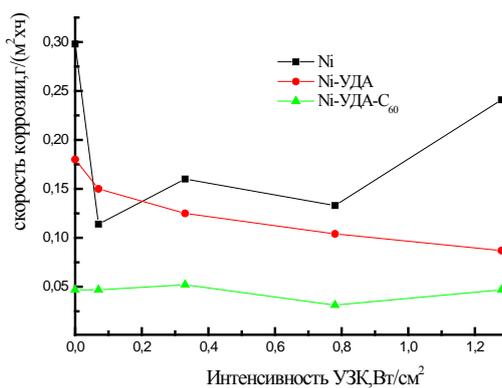
Включение УДА в электроосажденные никелевые покрытия приводит к увеличению твердо-

сти, износо- и коррозионной стойкости. Использование ультразвука при электроосаждении КЭП ведет к дальнейшему повышению прочностных и защитных свойств.

Микротвердость покрытий, сформированных при воздействии ультразвука, возрастает на 13,5-35%. При интенсивности ультразвука более $0,1 \text{ Вт/см}^2$ наблюдается значительное повышение износостойкости как никелевых, так и композиционных покрытий (рисунок 2). Величина коэффициента трения мало зависит от интенсивности ультразвука.



а



б

Рисунок 2 – Влияние условий формирования на износостойкость (а) и коррозионную стойкость (б) покрытий на основе никеля

Как показали коррозионные испытания, никелевые и композиционные покрытия имели склонность к точечной коррозии, в то время как осадки, полученные при воздействии ультразвука, отличались более стабильным поведением. С ростом интенсивности УЗК характерно снижение скорости коррозии, что обусловлено меньшей пористостью и более высокой компактностью осадков и хорошо согласуется с теорией о том, что рафинирование зерна ультразвуком приводит к меньшей пористости электроосажденных покрытий. Наибольшей коррозионной стойкостью обладают поликомпозиционные покрытия никель-УДА-фуллерены (C_{60}).

При формировании покрытий сплавом олово-висмут использование ультразвука позволяет повысить допустимую плотность тока, снизить в 2-3 раза пористость осадков, уменьшить величину контактного электросопротивления, улучшить защитные свойства и паяемость, которая сохраняется длительное время (рисунок 3, таблица 1).

Установлено, что использование ультразвуковых колебаний интенсивностью $1,02 \text{ Вт/см}^2$ способствует сохранению высоких показателей смачиваемости припоем поверхности покрытий сплавом олово-висмут после длительного хране-

ния в условиях лаборатории (коэффициент растекания припоя $K_p=91,81-93,18 \%$). Ультразвук позволяет увеличить содержание висмута в сплаве, тем самым улучшая свойства покрытий при длительном хранении. Воздействие ультразвука на процесс формирования приводит к повышению значения контактного электросопротивления покрытий. Однако в процессе хранения этот показатель улучшается до уровня покрытий, полученных без применения ультразвука.

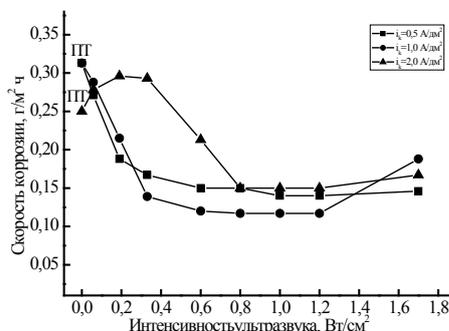


Рисунок 3 – Влияние условий формирования на скорость коррозии покрытий сплавом олово-висмут

Таблица 1 – Влияние ультразвука на свойства свежесоздаваемых (1) покрытий сплавом олово-висмут и после естественного хранения в течение 12 месяцев в условиях лаборатории (2) (Припой ПОС-61)

Режим электролиза	Без воздействия УЗК				Bi , масс. %	УЗК $I=1,02 \text{ Вт/см}^2$				
	K_p , %		R_k , МОм			K_p , %		R_k , МОм		Bi , масс. %
	1	2	1	2		1	2	1	2	
$i_k=0,5 \text{ А/дм}^2$	95,28	68,19	1,53	-	0,08	95,87	92,94	6,31	1,68	0,32
$i_k=1,5 \text{ А/дм}^2$	93,76	69,40	2,29	-	0,15	92,44	93,18	3,01	1,76	0,50
$i_k=2,5 \text{ А/дм}^2$	87,24	64,37	2,81	-	0,82	94,54	91,81	8,17	2,50	0,51

1. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. Учебник для химико-технол. специальностей вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Выш. Школа», 1975.
2. Дежкунов, Н.В. Оборудование для ультразвуковой интенсификации гальванических техпроцессов / Н.В. Дежкунов [и др.] // Ма-

териалы докладов III РНТС «Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий», БГТУ, Минск, Беларусь. - Минск: БГТУ, 2013. – С. 82–86.

УДК 539.2:669.(6–8)

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА $Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}$ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ СВИНЦОМ

Шепелевич В. Г.

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Бинарная эвтектика системы висмут-олово, а также сплавы, близкие по составу к ней, находят широкое применение в различных отраслях промышленности, например, в качестве припоев [1, 2]. Для улучшения эксплуатационных характеристик эвтектики проводят дополнительное легирование разными элементами. В последние десятилетия получило развитие высокоскоростное затвердевание, при котором скорость охлаждения жидкой фазы выше 10^5 К/с . Высокоскоростное затвердевание приводит к формированию структуры, которую невозможно получить с помощью традиционных технологий синтеза и обработки [3]. В связи с этим важное прикладное и научное значение имеют исследования влияния свинца на микроструктуру сплава $Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}$ с целью создания новых легкоплавких сплавов.

Сплавы $(Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}) - x \text{ мас. \% Pb}$ (в дальнейшем $(BiSn)_{100-x}Pb_x$, $x = 2, 4 \text{ и } 8$) изготовлены из компонентов, чистота которых выше 99,99 %. Капля расплава массой $\approx 0,2 \text{ г}$ инжигировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра, где она затвердевала в виде фольги. Толщина исследуемых фольг сплава составляла 40 - 70 мкм. Микроструктура быстрозатвердевших сплавов исследована с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1455VP. Определение параметров микроструктуры осуществлялось методом случайных секущих. Текстура фольг исследована

методом обратных полюсных фигур на дифрактометре ДРОН-3.

Сторона фольги A , находящаяся в контакте с кристаллизатором при затвердевании, имеет зеркальный вид. Противоположная сторона фольги B имеет бугристую структуру, на ней наблюдаются выступы и впадины. На дифрактограмме быстрозатвердевших сплавов $(BiSn)_{100-x}Pb_x$ наблюдаются дифракционные линии висмута, β -олова и ϵ -фазы (Pb_2Bi) . Таким образом, исследуемые быстрозатвердевшие сплавы $(BiSn)_{100-x}Pb_x$, ($x = 2, 4 \text{ и } 8$) являются трехфазными. Изображения микроструктуры быстрозатвердевшей фольги и массивного образца, полученного при скорости охлаждения 10^2 К/с , сплава $(BiSn)_{92}Pb_8$ приведены на рисунке 1. Наблюдаются белые, серые и черные области. Рентгеноспектральный анализ показал, что черные области соответствуют олову, серые – висмуту, белые – ϵ -фазе.

Значения объемной доли олова V_{Sn} и удельной поверхности межфазной границы олова с висмутом и ϵ -фазой S_{Sn} измерены методом случайных секущих. Проведено определение V_{Sn} и S_{Sn} сплава $(BiSn)_{96}Pb_4$ в слоях фольги, параллельных ее поверхности. Толщины и длины слоев равны 3 и 27 мкм соответственно, а само изображение поперечного сечения фольги получено через 1 сутки после ее изготовления. Графики зависимостей $V_{Sn}(x)$ и $S_{Sn}(x)$ от расстояния слоев x до поверхности фольги A представлены на рисунке 2.