



УДК 620.197

СТРУКТУРА И КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И МОЛИБДЕНА, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В. Г. Гречанюк, В. А. Денисенко

Продemonстрировано, что повышение температуры подложки до 900 °С позволяет получить конденсированные материалы на основе меди с большим содержанием молибдена. Изучена структура композиционных материалов и показано, что распределение компонентов по толщине конденсата имеет неоднородный характер. Установлено, что с увеличением содержания молибдена в образцах коррозионное разрушение увеличивается на участках с дефектами структуры.

It was demonstrated that increase in substrate temperature up to 900 °C allows producing condensed copper-based materials with a high content of molybdenum. Structure of composite materials was studied and it is shown that the distribution of components across the condensate thickness has a non-uniform nature. It was established that with increase in molybdenum content in samples the corrosion fracture is increased at the regions with structure defects.

Ключевые слова: коррозионная стойкость; композиционные материалы; электронно-лучевая технология; структура

В последнее время для изготовления электрических контактов широко применяются конденсированные из паровой фазы композиционные материалы на основе меди и молибдена [1–3]. Указанные материалы с концентрацией молибдена до 12 мас. % используются в контактах переменного и постоянного токов до 1000 А. Попытки получить подобные материалы с большей концентрацией молибдена на вращающейся со скоростью 38 об/мин подложке при температуре осаждения (700 ± 30) °С успеха не имели. В таких конденсатах фиксировалось хрупкое разрушение еще в процессе осаждения.

В то же время представляет интерес получение конденсированных материалов на основе меди и молибдена с большей концентрацией молибдена и расширение возможностей применения этих композиций в диапазоне токов свыше 1000 А.

Композиционные материалы Cu–Mo получали на стационарной подложке, изготовленной из стали Ст3 размерами 250×220×10 мм при повышенной температуре (900 ± 30) °С путем электронно-лучевого испарения и последующей конденсации в вакууме по технологической схеме, представленной на рис. 1.

Данная технологическая схема позволила формировать конденсированные композиции с градиен-

том по концентрации молибдена от 0 до 32,5 мас % (остальное медь).

Коррозионную стойкость конденсатов исследовали гравиметрическим методом [4]. Образцы площадью 100 мм² после предварительной обработки помещали в коррозионную среду (воду) на 100 ч. Контроль за изменением массы образцов осуществляли через каждые 20 ч. Исследования проводили

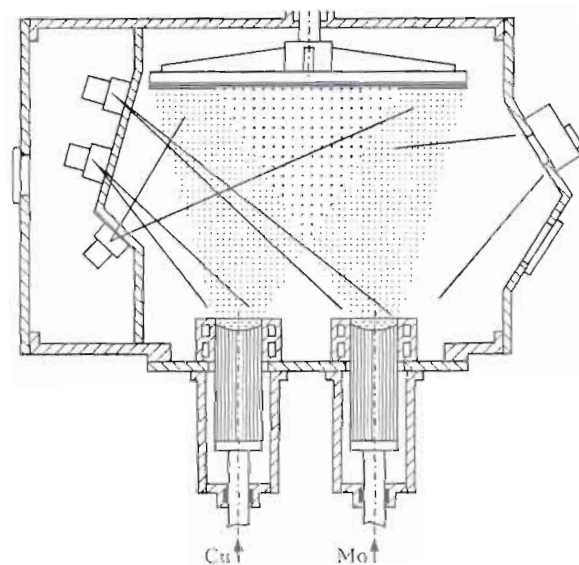


Рис. 1. Схема получения композиционных материалов Cu–Mo

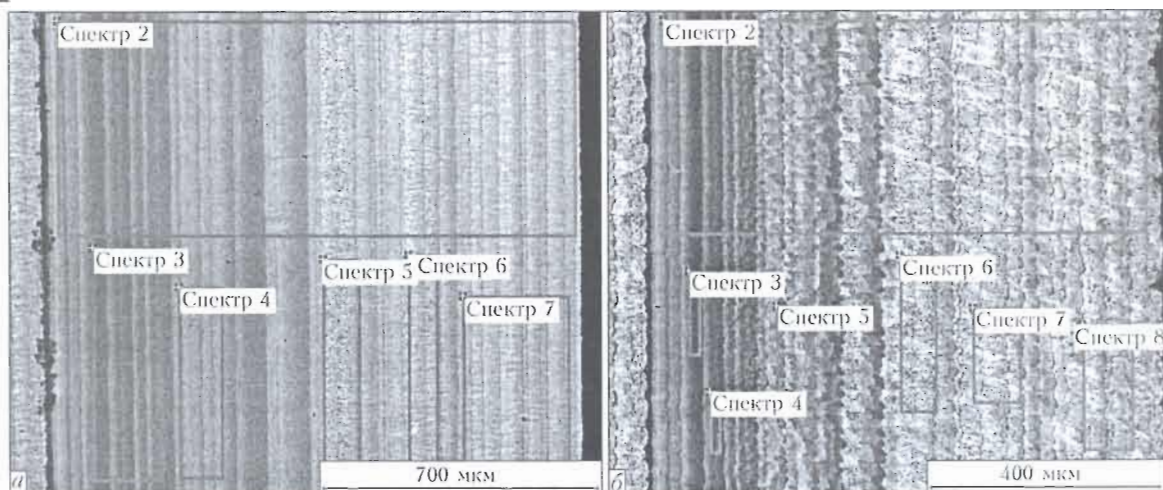


Рис. 2. Структура конденсата Cu-Mo по толщине с концентрацией молибдена 12,43 (а) и 40,36 мас. % (б)

в статическом режиме. Гравиметрические исследования дополняли определением состава коррозионной среды до и после проведения коррозионных испытаний, а также электронно-микроскопическими исследованиями.

Изучение химического состава конденсатов показало, что в стационарных условиях получения материалов их химический состав является неоднородным по толщине конденсата (рис. 2, а, таблица).

Усредненный химический состав по толщине конденсата показал, что содержание молибдена составляет 12,43 мас. %. В то же время распределение компонентов на отдельных участках по толщине конденсата носит неоднородный характер и колеб-

лется от 3,81 до 20,24 мас. % (рис. 2, а, таблица). О неоднородности распределения компонентов свидетельствуют данные, приведенные на рис. 3.

Анализ распределения компонентов в области минимального содержания молибдена показал, что существует неоднородность по молибдену даже в относительно узкой области. Так, на глубине 50 мкм она колеблется от 0,11 до 3,89 мас. % молибдена.

Структура конденсатов носит четко выраженный макрослойный характер. Размер слоев колеблется от нескольких десятков микрон до нескольких сотен. Границы макрослоев четкие, без видимого искажения, обусловленного шероховатостью подложки (рис. 2, а). В то же время микрослойность, обнаружен-

Химический анализ спектров конденсата Cu-Mo			
№ спектра	Массовая доля элементов, %		Источник
	Cu	Mo	
2	87,57	12,43	Рис. 2, а
3	96,19	3,81	
4	86,96	13,04	
5	79,76	20,24	
6	81,82	18,18	
7	84,02	15,98	
2	59,64	40,36	
3	94,89	5,11	
4	88,19	11,81	
5	61,18	38,82	
6	47,33	52,67	
7	46,47	53,53	
8	53,12	46,88	
1	5,87	54,13	Рис. 5
2	45,33	54,67	
3	35,24	64,76	
4	92,69	7,31	
5	21,31	78,69	
6	20,86	79,14	
7	18,78	81,22	

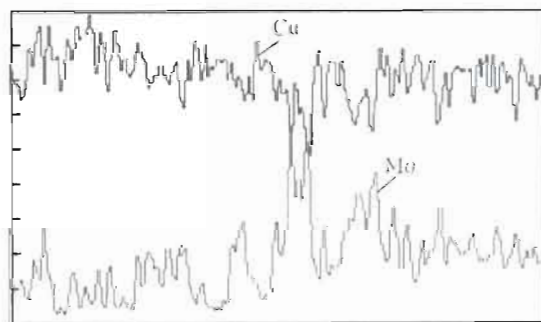


Рис. 3. Распределение компонентов меди и молибдена по толщине конденсата со средней концентрацией молибдена 12,43 мас. %

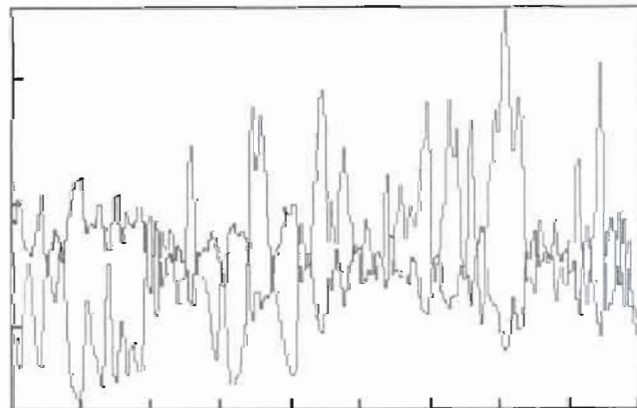


Рис. 4. Распределение меди и молибдена по толщине конденсата с концентрацией молибдена 40,36 мас. %

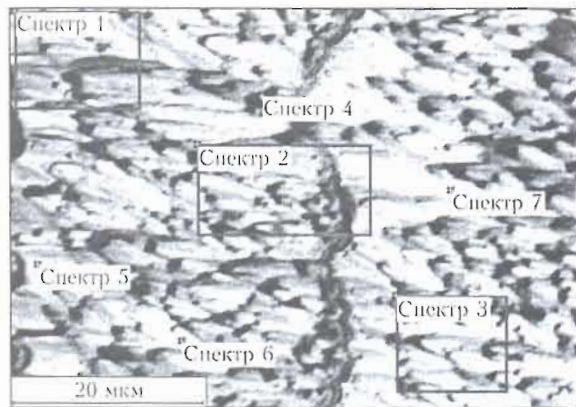


Рис. 5. Структура конденсата в области повышенного содержания молибдена

ная ранее в конденсированных материалах, полученных на вращающейся подложке, не выявлена.

Увеличение концентрации молибдена по усредненному химическому составу от 12,43 до 40,36 мас. % приводит к существенному изменению макроструктуры конденсатов (рис. 2, б, таблица). Границы между макрослоями в этом случае носят волнистый характер. Степень неоднородности распределения молибдена и меди в макрослоях возрастает.

Распределение компонентов на толщине конденсата $\text{Cu} - 40,36\% \text{Mo}$ иллюстрирует рис. 4.

Для областей с максимальным содержанием молибдена характерна нечетко выраженная столбчатая структура с преобладающим содержанием молибдена (светлое поле) и повышенной концентрацией меди (темное поле) (рис. 5).

Электронно-микроскопические исследования конденсатов, проведенные после коррозионных испытаний, показали, что при небольших концентрациях молибдена разрушение поверхности образцов не происходит, исключение составляют только участки с дефектами структуры, обусловленными теплофизическими условиями осаждения парового потока (рис. 6, а, б). При увеличении концентрации молибдена разрушение поверхности усиливается и на отдельных участках достигает 20 мкм (рис. 6, в).

Выводы

1. Определено, что повышение температуры подложки от 700 до 900 °С при совместной конденсации меди и молибдена на стационарную стальную подложку позволяет получать конденсированный материал на основе меди и молибдена с повышенным содержанием молибдена.

2. Показано, что для конденсатов $\text{Cu}-\text{Mo}$, полученных в стационарных условиях осаждения, характерны макрослои с хаотическим распределением по толщине конденсата.

3. Коррозионные разрушения конденсатов $\text{Cu}-\text{Mo}$, помещенных в дистиллированную воду, зафиксированы в участках поверхности, на которой имеются

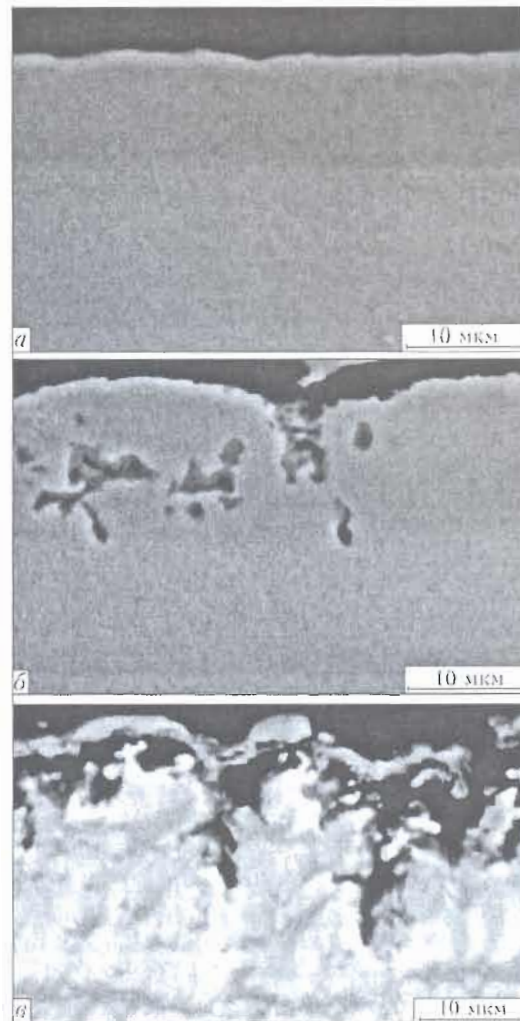


Рис. 6. Коррозионные повреждения образцов при следующих концентрациях молибдена: а, б – малых (12,43 %); в – больших (40,36 %)

структурные дефекты, связанные с металлургическими (технологическими) условиями их получения.

1. *Конденсированные* из паровой фазы композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов. Структура, свойства, технология. Современное состояние и перспективы применения технологии электронно-лучевого высокоскоростного испарения-конденсации для получения материалов электрических контактов. Сообщение 1 / И. Н. Гречанюк, В. А. Осекли, И. Н. Гречанюк, Р. В. Милакова // Современ. электрометаллургия. – 2005. – № 2. – С. 28–35.
2. *Разрушение* композиционного материала $\text{Cu}-\text{Mo}-\text{Y}-\text{Zr}$ в водных средах / И. Н. Гречанюк, В. Г. Гречанюк, И. Ф. Руденко, Т. Н. Свиридова // Электрические контакты и электроды. – Киев: Наук. думка, 1999. – С. 125–134.
3. *Коррозия* композиционных материалов на основе меди, используемых для электрических контактов / И. Н. Гречанюк, В. Г. Гречанюк, Б. М. Емельянов, И. Ф. Руденко // Там же. – Киев: Наук. думка, 1998. – С. 140–144.
4. *Унифицированная методика лабораторных испытаний эффективности ингибиторов коррозии в водных системах.* – Рига: Ин-т неорг. химии АН Латв. ССР, 1980. – 29 с.

Киев. нац. ун-т стр-ва и архитектуры, Киев

Поступила 08.11.2007