

## Влияние технологических факторов на механические свойства конденсатов на основе меди и молибдена

Н. И. Гречанюк, В. Г. Гречанюк\*

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН  
Украины, Киев, e-mail: eltechnic777@ukr.net

\*Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
Украины, Киев, e-mail: eltechnic777@ukr.net

*Проанализировано влияние технологических факторов: материала, уровня и форм шероховатости поверхности, на которую осуществляется конденсация, материала и толщины разделительного слоя, температуры подложки, глубины и динамики изменения вакуума, химического состава и скорости испарения исходных материалов, угла падения парового потока на поверхность конденсации, на изменение механических свойств конденсированных из паровой фазы композиционных материалов Си—Мо с концентрацией молибдена 0—46,5% (мас.).*

**Ключевые слова:** электронно-лучевое испарение-конденсация, псевдосплавы на основе меди и молибдена, механические свойства.

Конденсированные из паровой фазы композиционные материалы (ККМ) на основе меди и молибдена нашли широкое промышленное применение для изготовления электрических контактов и электродов [1]. В работе [2] подробно проанализированы структура и фазовый состав указанных композитов, полученных по трём технологическим схемам при температурах подложки из Ст3  $700 \pm 30$  °С и концентрации молибдена 0—46,7% (мас.):

- 1) на стационарной подложке размерами 700 x 400 x 15 мм с переменной по длине подложки концентрацией меди и молибдена;
- 2) на вращающейся со скоростью 36 об/мин подложке диаметром 800 мм и толщиной 25—30 мм;
- 3) на вращающейся с регулируемой скоростью от 1 до 15 об/мин подложке диаметром 500 мм и толщиной 25—30 мм с поочередным наложением друг на друга слоёв меди и молибдена [2].

Поверхность подложек, на которые осуществлялась конденсация парового потока, обрабатывали до получения шероховатости не ниже  $R_a = 0,63$  по ГОСТ 2759-73. Перед формированием конденсатов на предварительно нагретую до  $700 \pm 30$  °С подложку осаждали разделительный слой из диоксида циркония или фторида кальция, обеспечивающий их лёгкое отделение от поверхности конденсации. Для испарения использовали слитки меди и молибдена технической чистоты. Испарение меди проводили через ванну-посредник [3]. Указанный технологический приём позволил примерно в 2—3 раза увеличить скорость испарения меди и уменьшить в паровом потоке количество микрокапельной фазы. При этом изменили скорости осаждения меди и молибдена на стационарной подложке (вариант 1) от 8 до 60 мкм/мин и от 3 до 10 мкм/мин соответственно,

на вращающейся подложке (варианты 2, 3) — от 3 до 20 мкм/мин и от 1 до 3,5 мкм/мин соответственно. Суммарное содержание циркония и иттрия в конденсированных материалах Cu—Mo не превышало 0,1% (мас.). Конденсированные композиционные материалы представляли собой листовые заготовки прямоугольного (700 x 400 мм) и цилиндрического (500 и 800 мм) типов толщиной 0,8—5 мм. Физико-механические характеристики определяли по методикам, описанным в работе [4]. На механические характеристики ККМ влияют следующие основные технологические параметры:

- 1) материал, уровень и форма шероховатости поверхности, на которую осуществляется конденсация;
- 2) материал и толщина разделительного слоя;
- 3) температура подложки;
- 4) глубина и динамика изменения вакуума в процессе формирования ККМ;
- 5) химический состав и скорость испарения исходных материалов;
- 6) угол падения парового потока на поверхность конденсации.

Критериями выбора материала подложки служат: близость коэффициентов теплового линейного расширения соответствующего материала и сконденсированного вещества, отсутствие образования эвтектик на границе подложка—конденсат при осаждении испаряемых материалов, экономичность, простота обработки и др. Таким материалом при получении композитов Cu—Mo является углеродистая сталь Ст3.

Влияние уровня и формы шероховатости поверхности конденсации на изменение структуры ККМ рассмотрено в работах [4, 5].

Поскольку паровой поток практически полностью повторяет профиль поверхности подложки, на которую осуществляется конденсация парового потока, то уровень и форма шероховатости оказывают значительное влияние на структуру и, как результат, на механические характеристики конденсированных материалов. Наилучший вариант — получение полированной поверхности, что практически возможно, но экономически нецелесообразно из-за существенного удорожания материалов при их промышленном производстве. Многолетний опыт формирования указанных материалов показал, что оптимальной для обеспечения требуемых структуры, механических характеристик и экономичности является поверхность с уровнем шероховатости  $R_a \approx 0,63$  и волнистым профилем после обработки (рис. 1).

Увеличение уровня шероховатости, изменение её формы до куполообразной, конусной или ребристой прямоугольной неизбежно приводит к образованию пористости, несплошностей в ККМ и, как следствие, к снижению механических характеристик. Влияние материала и

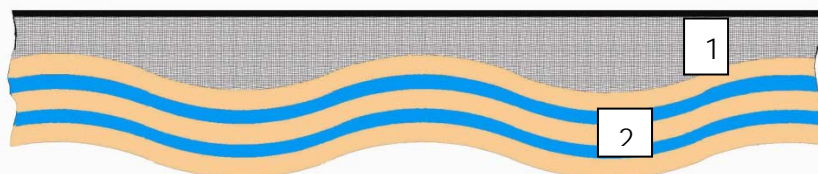


Рис. 1. Форма поверхности подложки для осаждения ККМ: 1 — подложка; 2 — конденсат.

толщины разделительного слоя на механические характеристики ККМ до последнего времени не изучалось. При получении массивных конденсатов некоторых чистых металлов и металлических сплавов для лабораторных исследований в качестве материала разделительного слоя использовали диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия [6].

Применение  $ZrO_2-Y_2O_3$  при промышленном производстве композитов на основе меди и молибдена оказалось неэффективным. Достаточно часто в процессе механического отделения конденсата от подложки одна часть разделительного слоя оставалась на подложке, другая — на конденсате. Процесс удаления указанного слоя с подложки и конденсата достаточно трудоёмкий, учитывая высокую твёрдость осаждённой керамики. Анализ других соединений для использования в качестве разделительного слоя показал, что наиболее приемлемым оказался фторид кальция ( $CaF_2$ ), который имеет высокую термодинамическую стабильность (стандартная энергия Гиббса — 1161,9 кДж/моль), относительно высокую температуру плавления (1400 °С), растворяется в воде [7] и является недорогим материалом.

Первые сведения о структуре и свойствах разделительного слоя с  $CaF_2$  на подложке из Ст3 и его влиянии на структуру массивных конденсатов на основе меди и железа приведены в работе [8]. На поверхности ККМ авторы наблюдали зернистую структуру. Её разнообразие, особенности дефектности границ, их связь с внутренней структурой конденсатов свидетельствуют об образовании на подложке из Ст3 между разделительным слоем и ККМ переходного технологического слоя, в составе которого присутствуют компоненты разделительного слоя и конденсата. При средней толщине разделительного слоя 10—15 мкм толщина технологического слоя колеблется от 20 до 50 мкм. Она в значительной мере определяется температурой подложки. Чем выше температура осаждения, тем толще технологический слой, формирующийся в приповерхностной области ККМ, контактирующей с разделительным слоем.

При нанесении разделительного слоя из  $CaF_2$  большое значение имеет масштабный фактор. Чем больше геометрические размеры подложки, тем меньше критическая толщина слоя, при котором образуются трещины. Так, на подложках из Ст3 размерами 250 x 200 x 20 мм в разделительном слое толщиной 40—50 мкм трещин не обнаружено. В то же время на аналогичных подложках диаметром 80—1000 мм толщина разделительного слоя не должна быть больше 20 мкм. В случае превышения критической толщины в разделительном слое образуются трещины, которые трансформируются в технологический слой, а затем и в конденсированный материал. Их глубина в ККМ может достигать 70—100 мкм, что в конечном итоге приводит к снижению механических характеристик осажденных композитов. Появление трещин в разделительном слое обусловлено возникновением критических напряжений вследствие разности КТЛР фторида кальция и железа, которые усиливаются при больших габаритах подложки.

На рис. 2 приведены зависимости предела прочности  $\sigma_b$  и относительного удлинения  $\delta$  конденсированных микрослойных материалов ( $Cu-Zr-Y$ )—Mo, полученных по технологической схеме 2 [1], на подложках из Ст3 с разным уровнем шероховатости поверхности, на которую

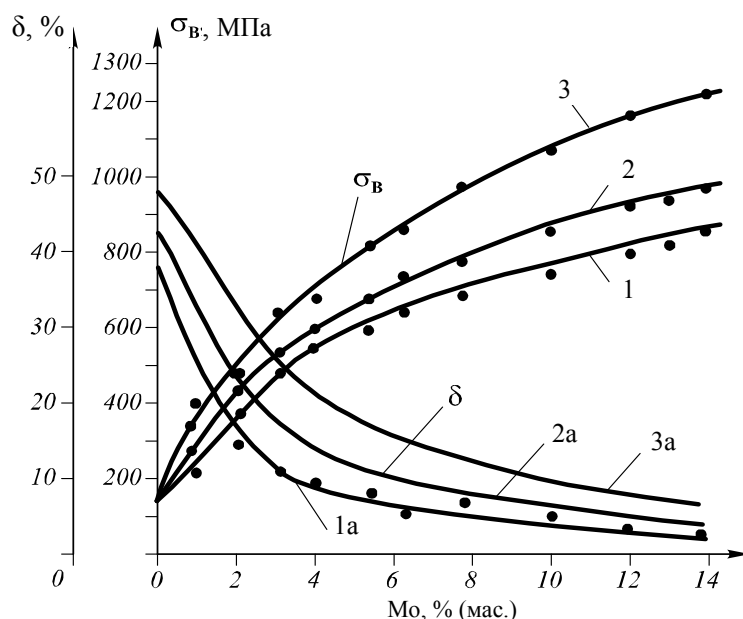


Рис. 2. Зависимости предела прочности  $\sigma_{\text{в}}$  (1—3) и относительного удлинения (1а—3а) ККМ Cu—Mo от уровня шероховатости подложки (ГОСТ 2789-73), на которую осуществлялась конденсация парового потока: 1, 1а — фрезерование торцевой фрезой тонкое,  $R_a = 1,6-0,63$ , КШ — 6,8; 2, 2а — шлифовка тонкая,  $R_a = 0,63-0,16$ , КШ — 8—10; 3, 3а — полировка электрохимическая,  $R_a = 0,04-0,01$ , КШ — 12—14.

осуществляется конденсация. Для изготовления указанных материалов подложку разрезали на сектора, поверхность которых обрабатывали до получения необходимого класса шероховатости (КШ). Подобный технологический приём позволил создать за один цикл ККМ с заданной концентрацией Mo на подложках с разным уровнем шероховатости. Анализ приведенных на рис. 2 зависимостей показал, что чем выше качество обработки поверхности, тем больше прочность и пластичность ККМ. Наиболее существенные различия по уровню механических свойств в ККМ наблюдаются в конденсатах с относительно высоким (8—14% (мас.)) содержанием молибдена.

Например, предел прочности  $\sigma_{\text{в}}$  и относительное удлинение  $\delta$  (кривые 1, 1а) конденсированных материалов, осаждённых на секторе подложки, обработанном фрезерованием торцевой фрезой, составляют 855 МПа и 4,8% соответственно. В то же время прочность и пластичность для конденсатов, сформированных на подложке после электрохимической полировки, достигают 1220 МПа и 8,3%. Указанные различия обусловлены, прежде всего, особенностями роста кристаллов на поверхности подложек с разной шероховатостью преимущественно с образованием дефектов на межкристаллитных границах.

В ККМ с содержанием Mo больше 14% (мас.), осаждённых при  $T_{\text{п}} = 700 \pm 50$  °С, наблюдается резкое снижение прочностных характеристик вследствие образования пористости. Качественно подобные зависимости

изменения механических свойств получены в указанных материалах после вакуумного отжига образцов при температуре 900 °С в течение трёх часов. При этом отмечается некоторое снижение характеристик прочности на 8—10% и повышение пластичности на 10—25% с увеличением среднеквадратического отклонения (3,3—5%) значений этих параметров в сравнении с исходным состоянием материалов. Повышение температуры подложки до 900 ± 30 °С позволило получить ККМ Cu—Mo с содержанием тугоплавкой фазы до 45% (мас.).

На рис. 3 приведены зависимости пределов прочности  $\sigma_b$  и текучести  $\sigma_{0,2}$  и относительного удлинения  $\delta$  ККМ Cu—Mo от содержания молибдена, полученные на подложке с уровнем шероховатости  $R_a \approx 0,63$ . По механическим характеристикам указанные материалы уступают аналогичным композициям, осаждённым при  $T_n = 700 \pm 30$  °С примерно в 1,5 раза. Это обусловлено образованием более крупнозернистой структуры в конденсатах, сформированных при повышенных температурах конденсации [1].

Механические свойства ККМ микрослойного типа, полученные при  $T_n = 700 \pm 30$  °С поочерёдным наложением слоёв меди и молибдена, исследовали на растяжение вдоль слоёв, составляющих композицию. Характерной особенностью изученных микрослойных конденсатов является сильная зависимость прочностных характеристик от толщины слоёв. В табл. 1 представлены значения пределов прочности, текучести и относительного удлинения микрослойных конденсатов в исходном состоянии, для сравнения — свойства литой меди М1 и молибдена (отожжённого после дуговой вакуумной плавки) [9].

Варьируя толщины чередующихся слоёв, матричного и упрочняющего (высокомодульного), можно в широких пределах регулировать механические свойства микрослойных материалов. Для композиций с постоянной толщиной слоя меди 5—6 мкм изменение толщины слоёв молибдена от 1 до 4 мкм способствует повышению предела текучести в 2,7 раза — от 160

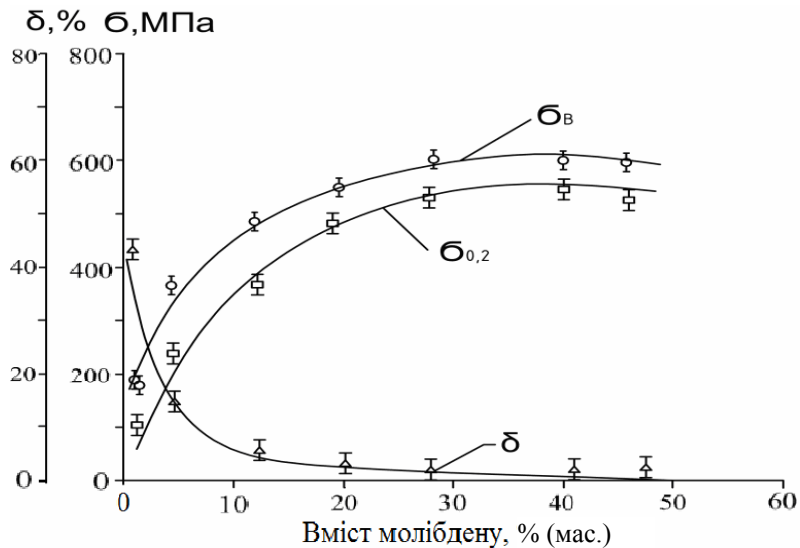


Рис. 3. Зависимости  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$  ККМ Cu—Mo, полученные при  $T_n = 900 \pm 30$  °С, КШ подложки  $\approx 0,63$ .

**Т а б л и ц а 1. Механические свойства микрослойных материалов Cu—Mo при комнатной температуре в зависимости от толщины слоев**

Толщина слоёв, мкм		$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
Cu	Mo			
5,0—6,0	1,0—1,3	280	160	29
"-	2,5	351	332	9
"-	3,0	403	360	8
"-	4,0	471	427	3
1,8	1,0—1,3	673	605	1
5,0	"-	280	160	29
7,0	"-	229	73	46
5,0	1,7—2,5	351	332	9
7,0	"-	284	247	15
10,0	"-	198	142	17
Cu M1	—	230	100	50
Mo	(ДВП)	539	323	15

до 427 МПа, предела прочности — в 1,7 раза — от 280 до 471 МПа. Относительное удлинение при растяжении снижается от 29 до 3% по мере увеличения толщины слоёв молибдена.

Во второй партии исследуемых материалов выдерживали постоянной толщину микрослоёв молибдена (1,0—1,3 мкм), изменяя при этом толщину микрослоёв меди. Увеличение толщины микрослоёв меди приводит к снижению  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  и увеличению  $\delta$ . При получении слоёв меди толщиной 7 мкм микрослойные материалы по прочности и пластичности приближаются к аналогичным характеристикам меди. Максимальные значения механических свойств в микрослойных композициях наблюдаются при минимальных исследуемых толщинах меди и молибдена 1,8 и 1,0—1,3 мкм соответственно:  $\sigma_b = 673$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 605$  МПа,  $\delta = 1\%$ . Они превышают значения пределов текучести молибдена на 50% и меди — на 600%. Уменьшение толщины чередующихся микрослоёв Cu и Mo до 0,5—0,9 мкм вызывает снижение прочностных характеристик, резкое увеличение интервала разброса их значений вследствие распада (нарушения сплошности) чередующихся микрослоёв при температуре осаждения  $700 \pm 30$  °С.

Важным свойством с точки зрения практического применения ККМ является стабильность прочностных характеристик при повышенных температурах. Стабильность микрослоёв определяет температурный интервал работы подобных материалов.

Исследуемые микрослойные материалы отжигали в вакууме в течение 5 и 25 ч. Металлографические исследования конденсированных микрослойных материалов показали, что во всех изучаемых композициях сплошность слоёв не нарушена. Отжиг при температуре 950 °С в течение 5 ч способствует образованию более равновесной структуры в чередующихся микрослоях. При этом наблюдается незначительное (3—5%) повышение исходного предела прочности. При увеличении времени отжига до 25 ч прочность микрослойных композиций снижается на 10—14% для

материалов с толщинами чередующихся слоёв меди 5 и 7 мкм и на 25—27% — в конденсатах с толщиной слоёв меди 1,8 мкм, толщина слоёв молибдена во всех композициях — 1,0—1,3 мкм. Пластичность ККМ микрослойного типа в интервале больших толщин слоёв меди приближается к пластичности чистой меди.

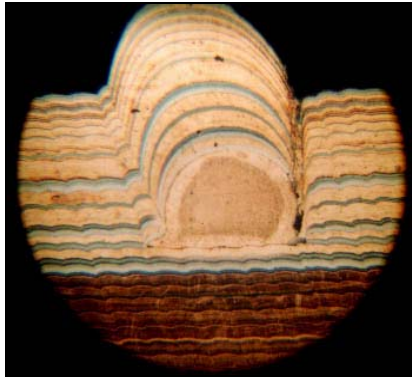
Как известно [3, 4], для производства композиционных материалов Cu—Mo используются технически чистые металлы. Химическая чистота исходных слитков меди и молибдена составляет 99,7—99,9 и 99,5—99,7% соответственно. Выбор указанных материалов обусловлен, прежде всего, уменьшением стоимости конечного продукта при максимальном сохранении его свойств и эксплуатационных характеристик. Основными примесями в меди являются (% (мас.)): никель — до 0,2, свинец — до 0,01, мышьяк — до 0,01, сера — до 0,01, а в молибдене: вольфрам — до 0,2, ниобий — до 0,15.

С целью интенсификации процесса испарение меди осуществляется через ванну-посредник из циркония и иттрия [3, 4]. Особенностью испарения подобных сплавов в вакууме из одного источника есть фракционирование, обусловленное расхождением скоростей испарения компонентов, которые образуют сплав. Поэтому конденсаты, которые формируются на подложке, имеют неоднородный состав по толщине. Существенное расхождение упругости паров испаряемого сплава используется не только для увеличения скорости испарения одного из компонентов сплава, но и для контролирования легирования конденсата.

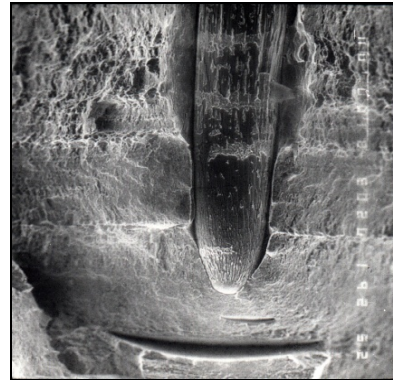
В нашем случае испарение технически чистой меди через ванну-посредник из Zr и Y приводит к получению меди с суммарным содержанием циркония и иттрия до 0,1% (мас.). Подобное легирование способствует повышению коррозионной стойкости, пределов прочности и текучести при незначительном снижении электропроводности по сравнению с технически чистой медью.

При получении ККМ испарением исходных материалов из отдельных тиглей и конденсацией пара на стационарной подложке скорости испарения выбираются в зависимости от требуемого состава композита. Однако вследствие резкой зависимости скорости испарения от температуры жидкой ванны получение конденсатов с однородным по толщине составом возможно только при полной стабилизации скорости испарения. Даже при колебании температуры жидкой ванны в пределах 10—20 °C скорость испарения может изменяться вдвое [1], что крайне неблагоприятно влияет на повторяемость состава конденсата и, как следствие, на его физико-механические характеристики.

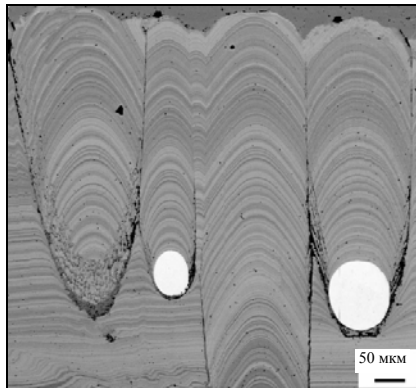
Нежелательный градиент концентраций в конденсированных материалах для промышленного производства изделий в значительной степени можно устранить, применяя движущиеся подложки. Метод движущихся подложек с раздельным испарением компонентов для получения псевдосплавов требуемого химического состава характеризуется высоким коэффициентом использования пара (в нашем случае до 80%), а также в значительной мере подавляет столбчатую структуру, которая иногда приводит к растрескиванию конденсатов. Столбчатая структура не образуется, поскольку угол падения парового потока непрерывно изменяется.



*a*



*б*



*в*

Рис. 4. Микроструктура стержней в конденсате: *a, в* — шлиф; *б* — излом.

Скорость испарения оказывает существенное влияние на структуру и физико-механические свойства конденсатов. Чем выше скорость испарения, тем больше вероятность образования дефектов в конденсатах. В большинстве случаев возникающие дефекты являются следствием переноса жидкой фазы в виде микрокапель.

Подобные капли сфероидизируются. Сфероиды, удерживаясь на поверхности конденсированного материала, вызывают нарушение фронта кристаллизации. Опухлость, которая появляется на закристаллизованных микрокаплях, наследуется всеми последующими порциями кристаллизующегося пара, вплоть до поверхности конденсата (рис. 4).

Химический состав микрокапель, на которых формируются иглоподобные стержни, неоднородный. Беспористые сфероидальные капли, кроме основного компонента, по результатам Оже-анализа, содержат цирконий, углерод, кислород, азот. Пористые шлакоподобные закристаллизованные частицы, кроме перечисленных элементов, дополнительно содержат фтор, хлор, кальций. Поскольку выброс микрокапельной фазы носит хаотический характер, образование стержней происходит (или не происходит) на любом этапе формирования конденсата. Их количество в объеме конденсированного материала зависит от многих факторов, главными из которых являются: чистота исходных (испаряемых) материалов; удельная мощность, вкладываемая на единицу площади испаряемого вещества; плотность материала и др.

Границы стержней с основным материалом являются местом локализации пластической деформации и образования трещин. Проведена сравнительная оценка изменения механических характеристик ККМ в зависимости от количества и размеров стержней, их расположения на поверхности изломов материала (табл. 2). Установлено, что наличие стержней в изломе сопровождается снижением прочности и пластичности тем



**Т а б л и ц а 2. Влияние размеров стержней на механические характеристики ККМ Cu—10—12% (мас.) Mo**

Номер образца	Размер стержней, мкм		Механические свойства	
	$d$	$l$	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
17	0,415	1,00	602	0,00
24	0,46	0,63	628	0,95
18'	0,54	1,06	575	0,00
20'	0,25	1,14	634	0,30
22'	Без стержней		666	2,60
30'	Без стержней		686	2,10

интенсивнее, чем больше длина, диаметр и их количество в изломе. Следует отметить, что образование стержней на завершающей стадии получения ККМ в меньшей мере влияет на снижение их прочностных и пластических характеристик.

Нельзя не учитывать также тот факт, что при стандартном рабочем вакууме  $3 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-3}$  Па осаждения композитов в паровом облаке происходит частичное окисление меди и молибдена и, как результат, образование дополнительных упрочняющих фаз CaO и MoO<sub>3</sub> (до 3% (мас.)), которые сложным образом влияют на изменение физико-механических характеристик полученных материалов.

### Выводы

Определены механические характеристики ККМ Cu—Mo, полученных по трём технологическим схемам при температурах подложки  $700 \pm 30$  и  $900 \pm 30$  °С.

Установлено заметное влияние подготовки поверхности подложки, на которую осуществляется осаждение парового потока, на изменение прочности и пластичности конденсированных материалов.

Выявлено взаимодействие конденсата Cu—Mo с разделительным слоем CaF<sub>2</sub> с образованием технологического слоя, который оказывает отрицательное влияние на механические характеристики.

Дефекты структуры в виде стержней, образующихся на микрокаплях, выброшенных из жидкой испаряемой ванны, приводят к снижению прочности и пластичности.

1. Гречанюк Н. И. Современные композиционные материалы для коммутационной и сварочной техники. Сообщение 2. Применение методов высокоскоростного испарения в вакууме для изготовления электрических контактов и электродов / [Н. И. Гречанюк, В. Г. Гречанюк, Е. В. Хоменко и др.] // Автоматическая сварка. — 2016. — № 2 (750). — С. 41—47.
2. Гречанюк Н. И. Конденсированные из паровой фазы дисперсные и слоистые объёмные нанокристаллические материалы на основе меди и молибдена. Сообщение 1. Структура и фазовый состав / Н. И. Гречанюк, В. Г. Гречанюк // Современная электротехнология. — 2018. — № 1.
3. Гречанюк Н. И. Композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов, конденсированных из паровой фазы. Структура, свойства. Технология. Ч. 2. Основы электронно-лучевой технологии получения материалов для электрических контактов / [Н. И. Гречанюк,

- В. А. Осокин, И. Н. Гречанюк и др.] // Современная электрометаллургия. — 2006. — № 2 (83). — С. 9—19.
4. Гречанюк В. Г. Фізико-механічні основи формування конденсованих з парової фази композиційних матеріалів на основі міді: Автореф. дис. ... д-ра хім. наук. — К. : Ін-т пробл. матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, 2013. — 75 с.
  5. Гречанюк І. М. Структура, властивості і електронно-променева технологія отриманих композиційних матеріалів Cu—Mo—Zr—Y для електричних контактів: Дис. ... канд. техн. наук. — К. : Ін-т пробл. матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, 2007. — 171 с.
  6. Демчишин А. В. Структура и свойства толстых вакуумных конденсатов металлических и неметаллических материалов и научные основы их получения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Киев : ИЭС им. Патона НАН Украины, 1981. — 39 с.
  7. Рабинович В. А. Краткий химический справочник / В. А. Рабинович, З. Я. Хавин. — М. : Химия, Ленинградское отделение, 1978. — 392 с.
  8. Мінакова Р. В. Про деякі особливості структури і властивостей товстих парофазних конденсатів на основі міді і заліза / [Р. В. Мінакова, М. І. Гречанюк, В. Г. Затовський та ін.] // Електронна мікроскопія і прочність матеріалів. — К. : Ін-т пробл. матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. — 2010. — Вып. 17. — С. 37—44.
  9. Осокин В. О. Структура, свойства и электронно-лучевая технология получения композиционных материалов на основе меди: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев : ИЭС им. Патона НАН Украины, 1990. — 250 с.

#### **Вплив технологічних факторів на механічні властивості конденсату на основі міді та молібдену**

Н. І. Гречанюк, В. Г. Гречанюк

*Проаналізовано вплив технологічних факторів: матеріалу, рівня і форм шорсткості поверхні, на яку здійснюється конденсація, матеріалу і товщини розділового шару, температури підкладки, глибини і динаміки зміни вакууму, хімічного складу і швидкості випаровування вихідних матеріалів, кута падіння парового потоку на поверхню конденсації на зміну механічних властивостей конденсованих з парової фази композиційних матеріалів Cu—Mo з концентрацією молібдену 0—46,5% (мас.).*

**Ключові слова:** електронно-променево випаровування-осадження, псевдосплави на основі міді та молібдена, механічні властивості.

#### **Influence of technological factors on mechanical properties of condensates based on copper and molybden**

N. I. Hrechaniuk, V. G. Hrechaniuk

*The influence of technological facts: material, level and surface roughness forms, on which condensation is carried out, on the material and thickness of the separation layer, on the substrate temperature, on the depth and dynamics of the change in the vacuum, on the chemical composition and rate of evaporation of the raw materials, on the angle of incidence of the vapor flow on the condensation surface on the change mechanical properties of condensed from the vapor phase composite materials Cu—Mo with a concentration of molybdenum from 0 to 46,5% by weight.*

**Keywords:** electron-beam evaporation-condensation, pseudo-alloys based on copper and molybdenum, mechanical properties.