

# ВПЛИВ ФОРМИ ШОРСТКОСТІ ПІДКЛАДКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

Гречанюк В. Г.<sup>1</sup>, Шаповалов В. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

Київ, просп. Повітряних Сил, 31, e-mail eltechnic777@ukr.net

<sup>2</sup>ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, Київ, 03150, вул. К. Малевича, 11

***Анотація.** Показано, що на механічні властивості, структуру дисперсно-зміцнених матеріалів і форму мікрошарів, які утворюються в композиційних матеріалах, сильно впливає форма шорсткості підкладки, оскільки паровий потік практично точно успадковує профіль поверхні підкладки. Ідеальним варіантом є отримання рівної гладкої поверхні підкладки, що практично неможливо і економічно недоцільно через подорожчання виробництва подібних матеріалів. Найбільш прийнятною формою обробки поверхні є хвиляподібна. В якості матеріалу підкладки використовують Ст3 або листові заготовки з того ж матеріалу, який обраний для випаровування.*

***Ключові слова:** композиційні матеріали, шорсткість, матеріал підкладки.*

До останнього часу дослідження структури і властивостей масивних матеріалів перебували на стадії отримання лабораторних зразків, у зв'язку з чим вивчення впливу матеріалу і шорсткості підкладки на характеристики композитів практично не проводилися. Вибір матеріалу, що використовувався в якості підкладки, проводили емпіричним шляхом.

Зазвичай, в якості матеріалу підкладки для отримання масивних конденсатів чистих металів Fe, Ni, Cr, Cu і дисперсно-зміцнених матеріалів на їх основі використовували листову вуглецеву сталь Ст3. При отриманні масивних конденсатів з тугоплавких металів як матеріал підкладки застосовували листові заготовки з того ж тугоплавкого матеріалу, який був обраний для випаровування. Критеріями вибору служили близькість коефіцієнтів теплового лінійного розширення матеріалу основи і конденсованої речовини та виключення можливості утворення за вибраної температури підкладки евтектики на міжфазній по-верхні підкладка – конденсована речовина.

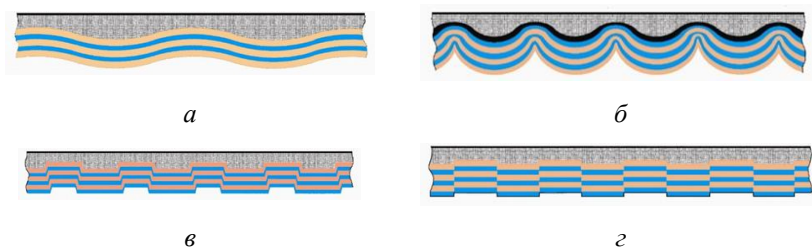
Як правило, для лабораторних досліджень поверхня підкладки, на яку здійснювалася конденсація, попередньо шліфувалася до отримання шорсткості  $Ra \approx 0,62-0,75$  і перед установкою в камеру оса-дження знежирювалася етиловим спиртом або ацетоном.

Ситуація різко змінилася, коли почалося промислове виробництво конденсованих з парової фази композиційних матеріалів Cu–Mo для електричних контактів [1–2]. Виявилось, що для отримання відтворених характеристик у промисловому масштабі, недостатньо вищеперерахованих уявлень про матеріал підкладки і підготовку її поверхні для подальшого формування композиту. У процесі отримання композиційних матеріалів Cu–Mo було встановлено, що на структуру та фізико-механічні властивості КМ, крім перерахованих факторів, впливають:

- форма шорсткості поверхні, на яку здійснюється конденсація;
- утворення нових сполук в приповерхневих шарах підкладки внаслідок взаємодії матеріалу підкладки з парами масла і залишковим киснем в робочій камері установки, яка інтенсифікується при її нагріві до робочих температур (температур осадження композиту);

- масштабний фактор (розмір підкладки, товщина конденсату).

Форми шорсткості, що утворюються при підготовці підкладки, на яку здійснюється конденсація, можуть бути різними (рис. 1).



**Рис. 1. Схематичне зображення форм шорсткості підкладки:**  
**а** – хвилеподібна; **б** – куполоподібна; **в** – ступінчаста; **г** – ребриста

Оскільки паровий потік практично точно успадковує профіль поверхні підкладки, то форма шорсткості сильно впливає на структуру дисперсно-зміцнених матеріалів і форму мікрошарів, які утворюються в КМ. Ідеальним варіантом є отримання рівної гладкої поверхні підкладки, що практично неможливо і економічно недоцільно через подорожчання виробництва подібних матеріалів.

Найбільш прийнятною формою обробки поверхні є хвилеподібна (рис. 1, а). У цьому випадку хвилястість композиту практично не впливає на його механічні характеристики. Збільшення рівня хвилястості, зміна її форми до куполоподібної й ребристої призводять до зміни кута падіння парового потоку на підкладку від 90° до 100–170° залежно від форми куполів або сходинок. Така зміна у бік великих кутів сприяє

утворенню несущільностей, пористості, уривчастості мікрошарів і, як результат, зниженню механічних характеристик сконденсованого матеріалу.

У разі ребристої поверхні підкладки, якщо висота ребер порівняна з товщиною мікрошарів, які формуються в конденсованих матеріалах Cu–Fe, Cu–Cr, Cu–Mo, Cu–W, формування мікрошаруватого матеріалу без руйнування суцільності (уривчастість) шарів взагалі неможливе (рис. 1, з). У цьому випадку можливе утворення фрагментів мікрошарів, що чергуються. При конденсації на бічну поверхню під кутом близьким до  $180^\circ$  (рис. 1, з) конденсат, що формується, має порошкоподібну форму. Зазвичай це призводить до розшарування (розтріскування) конденсату по товщині. Відповідно така форма шорсткості взагалі неприпустима при формуванні конденсованих з парової фази КМ.

З підвищенням класу обробки підкладки покращуються механічні характеристики. Клас шорсткості (к.ш.) визначається за ДСТУ 2789-73. На рис. 2 в якості прикладу наведена зміна механічних властивостей градієнтних матеріалів Cu–Mo залежно від шорсткості підкладки із Ст3 [3].

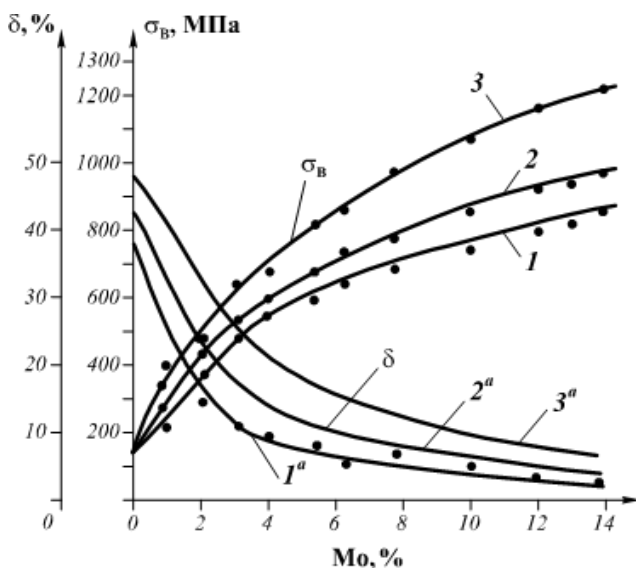


Рис. 2. Залежність межі міцності  $\sigma_{\text{в}}$  (1–3) і відносного подовження  $\delta$  (1а – 3а) від ступеня шорсткості підкладки,

на яку здійснюється конденсація парового потоку:

1, 1а – фрезерування торцевою фрезою тонке,  $Ra=1,6...0,63$  (к.ш. 6–8);

2, 2а – шліфування тонке,  $Ra=0,63...0,16$  (к.ш. 8–10);

3, 3а – полірування електрохімічне,  $Ra=0,04...0,01$  (к.ш.12...14)

В якості матеріалу підкладки використовують залізо (Ст3), оскільки воно вигідно відрізняється від інших матеріалів (нержавіючої сталі, титану) своєю відносною дешевизною, а також тим, що практично не взаємодіє з Cu, Mo, W в твердому і рідкому станах, а з хромом утворює безперервний ряд твердих розчинів. Проведені дослідження показали доцільність використання в якості підкладки матеріал Ст3, а також дозволили дати конкретні технологічні рекомендації щодо підготовки її поверхні перед осадженням композитів.

### **Список використаних джерел**

1. Гречанюк М. І., Гречанюк І. М., Затовський В. Г., Гречанюк В. Г. Патент України на винахід № 114451, 2017, бюл. № 11 Композиційний матеріал для електричних контактів та спосіб його отримання.

2. Гречанюк В. Г., Чернопол В. О., Витовецкая Т. В., Апанасенко В. Ю. Композиционные материалы на основе меди, полученные методом электронно-лучевого испарения-конденсации, для электрических контактов Международная конференция «Электрические контакты и электроды» Кацивели, Украина, 21–27 сентября 2011. С. 54–55.

3. Гречанюк Н. И., Гречанюк В. Г. Механические свойства дисперсных и слоистых композиционных материалов на основе меди и молибдена. Современная электрометаллургия. № 2, 2019, с. 43–50.