

# СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРООСАДЖЕНИХ КОМПОЗИТІВ Cu – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

*Отримано фольги композитів Cu – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> шляхом електроосадження. Вивчено вплив концентрації зміцнювальної фази на структуру і фізико-механічні властивості композитів. Визначено оптимальний вміст оксиду стосовно його впливу на міцність і релаксаційну стійкість*

*Ключові слова: електроосадження, фольги композитів, мідь, оксид алюмінію*

*Получены фольги композитов Cu - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> путем электроосаждения. Изучено влияние концентрации укрепляющей фазы на структуру и физико-механические свойства композитов. Определено оптимальное содержание оксида по его влиянию на прочность и релаксационную стойкость*

*Ключевые слова: электроосаждение, фольги композитов, медь, оксид алюминия*

*Composites of Cu foil - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by electrodeposition were obtained. The influence of the concentration-enhancing phase on the structure and physico-mechanical properties of composites was studied. The optimum oxide content relative to its effect on the relaxation strength and strength was determined*

*Keywords: electrodeposition, foil composites, copper, aluminum oxide*

**О.І. Ільїнський**

Доктор фізико-математичних наук, професор  
Кафедра матеріалознавства\*  
Контактний тел.: (057) 707-64-35

**М.Д. Сахненко**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри  
Кафедра фізичної хімії\*

**О.В. Богоявленська**

Кандидат технічних наук, науковий співробітник  
Кафедра фізичної хімії\*

**С.І. Лябук**

Кандидат технічних наук  
Кафедра матеріалознавства\*  
Контактний тел.: (057) 707-64-35

\*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

## Вступ

Розвиток і удосконалення сучасного виробництва радіотехнічної і мікроелектронної промисловості потребує створення металеві фольги зі строго заданими фізико-механічними властивостями. Одною з найбільш важливих проблем є отримання мідної фольги, яка добре зціплюється з діелектриком і використовується для виготовлення печатних плат. Більш того, поряд з реалізацією певного рівня міцності треба забезпечити термічну стабільність фізико-механічних властивостей. Дана проблема може вирішуватися шляхом введення на стадії отримання фольги домішок другої фази [1-3].

Таким чином, метою даної роботи було отримання композитів на основі міді і вивчення їх структури і фізико-механічних властивостей.

## Експеримент

Фольги чистої міді та композитів міді отримували за допомогою метода електроосадження [2]. Товщина об'єктів змінювалась від 10 мкм і до 100 мкм. Для подальшого дослідження були вибрані зразки товщиною

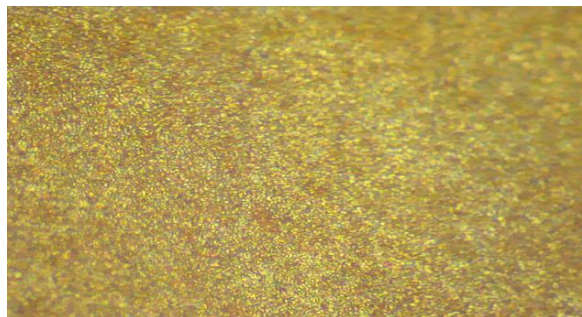
40 мкм. Зміст другої фази – оксиду алюмінію також змінювався від 5 до 100 г/л.

Випробування проводились на установці TIRA-test-2300 з жорстким динамометром зі швидкістю  $0,3 \cdot 10^{-2} \text{с}^{-1}$  при температурі 293 К. Спочатку проводили випробування на розтягнення до рівня напружень межі текучості, а потім припиняли навантаження і проводили зйомку кривих релаксації. Релаксаційна стійкість оцінювалась по величині відносної глибини релаксації напружень  $\Delta\sigma/\sigma_{0,1}$  ( $\Delta\sigma$  – глибина релаксації, або падіння напружень,  $\sigma_{0,1}$  – початкове напруження, яке вибиралося на рівні умовної межі текучості з остаточною деформацією 0,1 %) [5, 6]. Цикл релаксації напружень проводили шляхом зупинки захватів машини і автоматичного запису на діаграмну стрічку кривих релаксації до насичення. Швидкість релаксації ( $\dot{\sigma}$ ) визначали шляхом чисельного диференціювання кривих релаксації [4, 5].

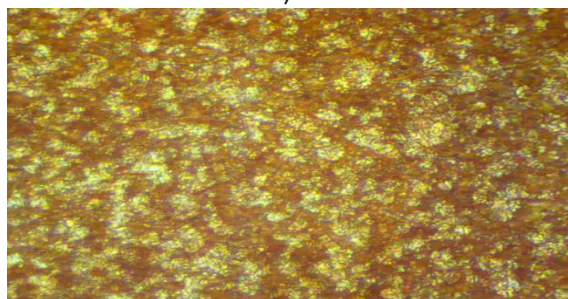
## Результати

Мікроструктура міді без домішок має зеренну однорідність. Середній розмір зерна ~ 10 мкм. При введенні домішок оксиду алюмінію структура стає більш дисперсною ~ 1-2 мкм. На рисунку 1 приведено мікро-

структуру електроосадженої міді, легованої оксидом алюмінію.



1)



2)

Рис. 1. Мікроструктура електроосадженої міді, легованої оксидом алюмінію (x 1250): 1) - 5 г/л оксиду алюмінію, товщина 40 мкм, 2) - 50 г/л оксиду алюмінію, товщина 40 мкм, нагрів 60° С

Структура композитів міді являє собою поліедричні зерна з частками другої фази  $Al_2O_3$ . Частки другої фази розташовані у зернах та по границям зерен. Структура електроосаджених фольг також пересичена дефектами (велика щільність дислокацій, вакансій). Тому границі зерен важко протравлювалися, та практично не помітні.

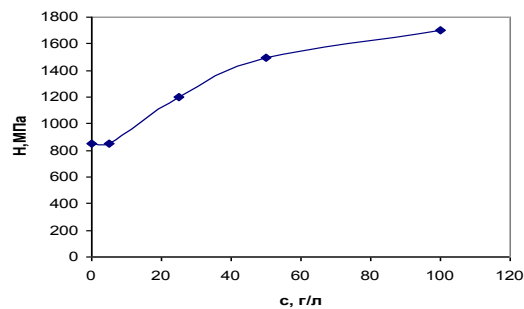
Характерно, що при збільшенні вмісту другої фази до 50, 100 г/л спостерігається злипання часток  $Al_2O_3$  та утворення конгломератів (рис.1 (2)), при цьому зменшення зерен виявляється відносно незначним (з 10 мкм до 5 мкм).

До негативних наслідків також приводить нагрів розчину електроліту на стадії отримання електроосаджених фольг – спостерігається ще більше злипання часток другої фази (рисунок 1, 2). Це приводить до прояву крихкості у композитах і зниженню міцності.

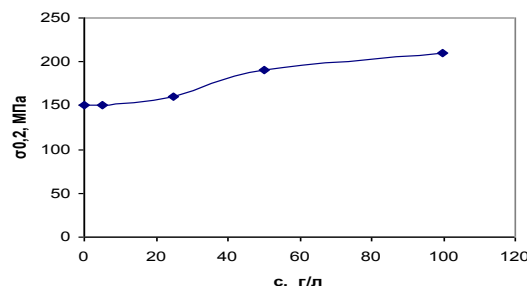
Випробування на активне розтягнення зразків електроосадженої міді і композитів мідь-оксид  $Al_2O_3$  проводилось при кімнатній температурі на машині для механічних іспитів TIRAtest – 2300. Визначалися наступні характеристики – межа текучості  $\sigma_t$ , межа міцності  $\sigma_b$ , пластичність при розтягненні. Мікротвердість вимірювалась на приборі ПМТ-3. На рисунку 2 приведено графіки залежності міцнісних характеристик від вмісту другої фази  $Al_2O_3$ .

При збільшенні концентрації другої фази  $Al_2O_3$  значення мікротвердості, межі текучості і міцності зростають, при цьому закономірно знижується пластичність. Частки  $Al_2O_3$  виступають у якості надійних перешкод руху дислокацій, що характерно для дисперсійного ме-

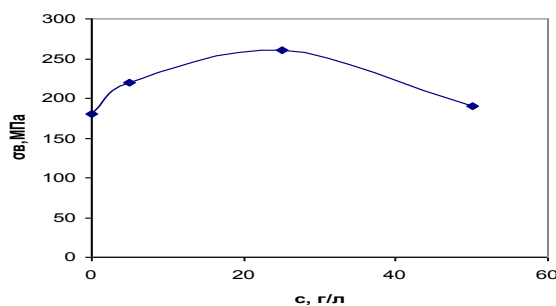
ханізму зміцнення по Оровану (огинання часток другої фази дислокаціями) [6].



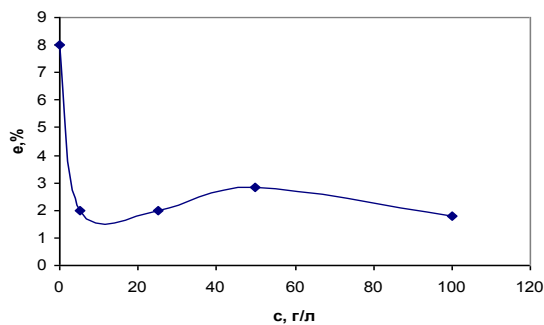
1)



2)



3)



4)

Рис. 2. Залежність мікротвердості (1), межі текучості (2), межі міцності (3) і пластичності (4) композитів від вмісту другої фази  $Al_2O_3$

Зйомка релаксаційних кривих проводилася до виходу кривих на «насичення» ( $\Delta\sigma = \text{const}$ ,  $\Delta\sigma/\Delta t \rightarrow 0$ ). Релаксаційна стійкість є величиною зворотною відносної глибини релаксації. Як бачимо, згідно рисунку 3 відносна глибина релаксації напружень зразків у чистій

міді значно нижче, ніж у зразках з добавкою оксиду. Це свідчить про те, що зразки після введення оксиду мають вищу релаксаційну стійкість ніж у чистій міді. Цей результат підтверджується також після зйомки кривих релаксації напружень на протязі 25 хвилин. Але невелика кількість оксиду алюмінію – 5 г/л значно знижує релаксаційну стійкість. Це свідчить про не монотонність залежності релаксаційної стійкості від вмісту оксиду. Більш детальний аналіз отриманих результатів потребує комплексних структурних досліджень, що є метою наших подальших досліджень.

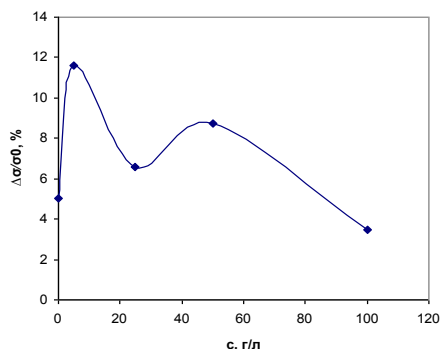


Рис. 3. Залежність релаксаційної стійкості від вмісту зміцнювальної фази

### Висновки

1. Розроблено методику отримання фольг електроосаджених композитів мідь – оксид алюмінію.

2. Вивчено вплив зміцнювальної фази на міцнісні властивості композитів, а також їх релаксаційні параметри.
3. Визначено, що релаксаційна стійкість немонотонно залежить від концентрації оксиду алюмінію.
4. Рекомендовано у якості оптимального змісту зміцнювальної фази використовувати 30–50 г/л оксиду алюмінію. Ця концентрація оксиду забезпечує як високий рівень міцності та високу релаксаційну стійкість.

### Література

1. A. I. Il'insky, S. I. Lyabuk, A. I. Zubkov // Functional Materials. – 2003. – 10. № 1. – P. 52–54.
2. Сайфуллин, Р.С. Комбинированные электрохимические покрытия и материалы. [Текст] / Р.С. Сайфуллин. М.: Химия, 1972.- 167 с.
3. Г. А. Малыгин. // Физика твердого тела – 2005.- т.47.- в.7.-С. 1247 – 1252.
4. Бенгус, В.З. С.Н. Комник, Е.Д. Табачникова // Физика конденсированного состояния. 1979.-№ 5.- С. 137 – 151.
5. Доценко, В.И. Современные проблемы низкотемпературной пластичности материалов [Текст] / В.И. Доценко, А.И. Ландау, В.В. Пустовалов. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1987.- 162 с.
6. Гуляев, Б.Б. Структура и свойства сплавов. [Текст] / Б.Б. Гуляев, Н.В. Камышанченко, И.М. Неклюдов, А.М. Паршин, Е.И. Пяхин. - М: «Металлургия». 1993.- 317 с.

**Розроблена установка для вимірювання теплопровідності сипучих вуглецевих матеріалів гранулометричним складом від 0 до 10 мм в температурному діапазоні 100–1000 °С. Отримані дані по теплопровідності однокомпонентної шихти з різними пропорціями її складових та різного фракційного складу**

**Ключові слова: теплопровідність, коксовий дріб'язок, вимірювальна установка**

**Разработана установка для измерения теплопроводности сыпучих углеродных материалов гранулометрическим составом от 0 до 10 мм в температурном диапазоне 100–1000 °С. Получены данные по теплопроводности однокомпонентной шихты с различными пропорциями ее составляющих и различного фракционного состава**

**Ключевые слова: теплопроводность, коксовая мелочь, измерительная установка**

**This article represents designed apparatus for measuring the thermal conductivity of bulk carbon material with particle size distribution from 0 to 10 mm and the temperature range 100 - 1000 °C. The thermal conductivity of one-component blend with different proportions of its components and with different fractional composition are received**

**Keywords: thermal conductivity, coke breeze, measuring apparatus**

УДК 536.2.081.7

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО- ПРОВІДНОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Т. В. Чирка**  
Аспірант

Кафедра хімічного, полімерного та  
силікатного машинобудування  
Національний технічний університет  
України "Київський  
політехнічний інститут"  
пр. Перемоги, 39, м. Київ,  
Україна, 03056  
Контактний тел.: (044) 406-83-09,  
096-706-86-01  
E-mail: mustford@ukr.net