

УДК 669.019.9

К.О. Іваненко, В.С. Копань, С.Л. Рево, В.П. Майборода*

Анізотропія властивостей багат шарових композиційних матеріалів Cu-Zn та Cd-Zn в площині листа

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
пр.акад.Глушкова, 6, Київ, 03022, тел. (044) 266-23-67, e-mail: revo@phys.univ.kiev.ua,
*Інститут проблем матеріалознавства Національної Академії наук України,
вул.Кржижанівського, 3, Київ, 03142, тел.(044)444-3364, e-mail: maiborod@ipms.kiev.ua*

Досліджена анізотропія границі міцності при розтягуванні σ_B і диференціальної термо-ЕРС E_T в площині листа багат шарових композиційних матеріалів Cd-Zn і Cu-Zn. Помічена кореляція між кутовими залежностями σ_B та E_T . Показано, що вона визначається не кристалічною текстурою, а перш за все, анізотропним розподілом далекодійчих полів напруг дислокацій.

Ключові слова: анізотропія, багат шарові композиційні матеріали, границя міцності, диференціальна термо-ЕРС.

Стаття постуила до редакції 27.08.2002; прийнята до друку 23.09.2002

I. Вступ

Серед різноманітних композиційних матеріалів (КМ), що з успіхом використовуються сьогодні в промисловості, важливе місце займають багат шарові композиційні матеріали (БКМ). На відміну від інших КМ, виготовлених, як правило, із пластичної матриці і надміцного, проте крихкого зміцнювача у вигляді частинок, пластин або волокон, БКМ можуть мати шари як і з близькими, так і з дуже відмінними властивостями від тих, що притаманні матеріалам цих шарів.

У багатьох випадках КМ створюють з метою випуску виробів з високими експлуатаційними і, перш за все, фізико-механічними характеристиками. І якщо властивості КМ більшості класів можна розрахувати, знаючи властивості компонентів і враховуючи реакції на границях, то для БКМ це зробити досить складно. Все пов'язано з тим, що деформаційне зміцнення багат шарових систем при зменшенні середньої товщини шару (h) менше 0,1 мкм, часто значно перевищує зміцнення окремих компонентів при їх деформації. Тому основним завданням при створенні БКМ є реалізація мікроплівкового стану в масивному матеріалі.

Важливу роль для успішної експлуатації виробів із КМ відіграє знання анізотропії його властивостей і прогнозування її змін при різних видах обробки. Тим важливіше дослідження анізотропії властивостей БКМ, які складаються із компонентів, що мають у вільному стані анізотропію у площині листа. До цього часу в науковій літературі дуже мало даних

про проведення досліджень у вказаному напрямку.

Метою даної роботи є:

а) створення модельних двокомпонентних БКМ із компонентами (фольгами металів, що складають композицію), одна з яких або обидві (Cu-Zn та Cd-Zn, відповідно) мають некубічну кристалографічну ґратку і анізотропію властивостей у площині листа;

б) дослідження анізотропії міцності і електрофізичних властивостей БКМ у площині листа та можливості керування цими властивостями;

в) вивчення процесів спадковості властивостей компонентів композиційними матеріалами на їхній основі.

II. Об'єкти досліджень і методика експерименту

Багат шарові композиційні матеріали мідь-цинк і кадмій-цинк отримані шляхом пресування пакета фольг відповідних металів, що чергуються, товщиною (100 ± 5) мкм у струбціні, вакуумного відпалу пакета при температурі $(573 \dots 600)$ К на протязі 900 с і наступної холодної прокатки до заданої розрахованої h . В результаті вакуумного відпалу відбувалося попереднє зварювання пакету. Остаточний пакет зварювали в процесі первинної холодної прокатки з обтисненням $(5 \dots 20)$ %, а потім прокатували при кімнатній температурі до тих пір доки товщина шару не досягала значення $h = 0,1-0,2$ мкм. Дослід показує, що у скільки разів зменшується під час прокатки товщина пакету, у

стільки ж разів зменшується і h , що справедливо до $h \sim (20 \dots 15)$ нм. Суцільність шарів при $h < (20 \dots 15)$ нм порушується, відбувається їх фрагментація на луски і змінюється механізм деформації БКМ: зразки тоншають за рахунок ковзання лусок одна по одній без зменшення h . Тому контроль за товщиною шарів до $h \cong 20$ нм здійснювали, вимірюючи загальну товщину пакету.

Неадитивність властивостей БКМ відносно властивостей компонентів (насамперед дво-, трикратне зростання границі міцності при розтягуванні (σ_B)) реалізується для практично нерозчинних компонентів [1,2]. У даній роботі розглянуто два варіанти: системи з високою (Cu-Zn) і низькою (Cd-Zn) взаємною розчинністю компонентів. Для БКМ Cu-Zn у міді може розчинятися навіть у твердому стані до 39 ат.% цинку, а для БКМ Cd-Zn розчинність цинку в кадмії при 539 К - всього 3,8 ат.%.

Границю міцності при розтягуванні досліджували за допомогою розривної машини типу "Інстрон" на повітрі при кімнатній температурі на зразках із довжиною робочої ділянки 14 мм, шириною 3 мм, при швидкості розтягування 80 мм/хв. Середнє значення σ_B визначали за результатами випробувань 10 зразків.

Термо-ЕРС вимірювали в парі еталон-зразок, при цьому еталоном була смуга досліджуваного матеріалу, вирізана паралельно до напрямку прокатування (НП), а зразками - смуги матеріалу, вирізані під різними кутами φ до НП.

Аналіз розподілу мікронапруг у зразках проводили за допомогою дифрактометра ДРОН-4М. Для дослідження анізотропії величини мікронапруг зразок обертали навколо нормалі до відбиваючої кристалографічної площини, виведеної шліфівкою на поверхню зразка й аналізували залежність уширення лінії від кута повороту зразка (φ). Напруги, що виникли в приповерхневих шарах зразків під час

шліфування, знімали травленням поверхневого шару. Оскільки полікристалічні зразки після прокатки сильно текстуровані, то площини, що відбивають, у кожному зерні приблизно паралельні між собою. Шліфівка дозволяла використовувати для всіх значень φ один еталон, не вводячи поправок на поглинання. Мікронапруги розраховували, множачи величину приросту параметра ґратки, обумовленого прокаткою, на усереднений модуль пружності.

III. Результати експерименту та обговорення

Дослідження анізотропії σ_B в площині листа показало, що найменше значення σ_φ мають зразки, вирізані вздовж НП, а найбільше – поперек НП – σ_\perp . При цьому, приріст границі міцності для Zn, Cd та БКМ Cd-Zn

$$\Delta\sigma_\varphi = \sigma_\perp - \sigma_\varphi$$

описується формулою:

$$\Delta\sigma_\varphi = \Delta\sigma_0 \cdot \sin^2\varphi.$$

Амплітуди $\Delta\sigma_0$ для БКМ Cd-Zn, листів Cd, прокатаних із сумарним відносним обтисненням $\varepsilon_\Sigma=30\%$, і листів Zn ($\varepsilon_\Sigma=32\%$) дорівнюють 29,4; 19,6 та 68,6 МПа, відповідно (відносна похибка при визначенні σ_B складає 10-15%). Для БКМ Cu-Zn кутова залежність $\Delta\sigma_\varphi$ не вкладається в синус-квадратичну (крива Δ рис. 1).

При збільшенні ε_Σ величина $\Delta\sigma_0$ змінюється. Отже, можна стверджувати, що приріст границі міцності наведений деформацією. Цікавила також оцінка, в якій мірі в результаті такої деформації змінювалися інші властивості, що відбивають анізотропну структуру матеріалу. Раніше було встановлено [3], що найбільш добре корелюють між собою за характером залежності для металів із

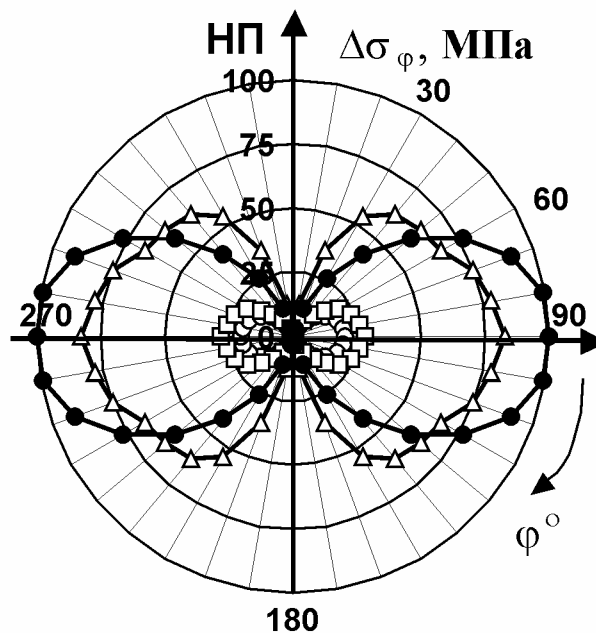


Рис.1. Індикатриси приросту границі міцності при розтягуванні $\Delta\sigma_\varphi$ (Па) від кута φ між напрямком прокатки і напрямком розтягування для Cd(○), БКМ Cd-Zn (□), БКМ Cu-Zn (Δ) і Zn (●).

некубічною кристалічною ґраткою анізотропія σ_B і диференціальна термо-ЕРС. В даному випадку, як для Cd, Zn, так і для БКМ Cd-Zn індикатриса термо-ЕРС укладаються в синус-квадратичну залежність

$$E_T = E_0 \sin^2 \varphi,$$

тобто має місце кореляція $\Delta\sigma_\varphi$ і E_T . При цьому $E_T = E_0$ для зразків, вирізаних перпендикулярно до НП. Знак E_T , обумовлений анізотропією, для вказаних матеріалів додатній, тобто у “гарячому” спаї термопари термострум протікає від зразка, вирізаного паралельно, до зразка, вирізаного перпендикулярно до НП. Для БКМ Cu-Zn залежність $E_T = f(\varphi)$ носить більш складний характер, проте, для нього можна відмітити кореляцію з характером залежності $\sigma_B = f(\varphi)$.

Як раніше було встановлено для ряду металів із некубічною кристалічною ґраткою (Ti, Zn, Cd, Sn, Be тощо) [3], анізотропія термо-ЕРС, наведена деформацією, і анізотропія деформаційного приросту границі міцності обумовлені впорядкованим розміщенням дислокацій у зернах текстурованого листа метала. Оскільки Zn є основою в обох досліджених БКМ, то, очевидно, всі процеси структурних змін, які відбуваються в них, будуть успадковувати ті, котрі відбуваються в тонкоплівкових шарах Zn. Тому, анізотропія залежності $\Delta\sigma_\varphi$ від φ для БКМ Cd-Zn подібна такій для Cd і Zn, а також залежностям $E_T = f(\varphi)$ для них, а амплітуда $\Delta\sigma_0$ для БКМ Cd-Zn за величиною займає проміжне положення між амплітудами для окремих компонентів. У БКМ Cu-Zn (компоненти з неоднаковим типом кристалічної ґратки) – анізотропії $\Delta\sigma_\varphi$ та E_T також корелюють між собою, але не укладаються в синус-квадратичні залежності.

Слід відмітити, що у більшості випадків ми мали справу з листами, в яких базисна площина гексагональної кристалографічної структури зерен металу (наприклад, у цинку) складає з площиною прокатки двограний кут до 45° , причому, ребро кута перпендикулярне напрямку прокатки. В цьому

випадку деформація відбувається із ковзанням по базисним площинам з утворенням сітки дислокацій, які ускладнюються із зростанням деформації і, в кінці кінців, обумовлюють деформаційну полігонізацію [4]. Такі сітки можуть утворюватися дислокаціями різних типів. Характерним же є те, що дислокаційні сітки своїми пружними полями перешкоджають переміщенню рухливих дислокацій. Іншими словами вони будуть перешкоджати руху тих дислокацій, що народжуються в процесі розтягування текстурованого зразка, і тому будуть рухатися з неоднаковим тертям — стрибками із одного положення рівноваги в інше. Анізотропне поле напруг кожної дислокаційної системи, створене нерухомими пірамідальними дислокаціями сітки в площині ковзання рухливих (базисних) має характерний розподіл: лінії однакових напруг відносно своєї осі симетрії описуються синус-квадратичною залежністю. Тому, прирости границь міцності та текучості будуть також описуватися синус-квадратичною залежністю (рис. 1).

Варто зазначити, що не завжди в зернах листа металу формується упорядкована сітка дислокацій. Тому у кожному конкретному випадку потрібний статистичний підхід, однак, загальна схема формування анізотропії $\Delta\sigma_\varphi$ змінюється мало. Для БКМ кристалографічна текстура в шарах, а з нею і анізотропія далекодіючих полів напруг відрізняється від тієї, що формується при прокатуванні окремих листів Cu і Zn. Це й зумовлює для нього специфіку анізотропії σ_B і E_T . Для Zn подібне спостерігали при вивченні відношення числа гибів для вирізаних подовжньо і впоперек до НП зразків, прокатаних пакетом і окремим листом. У першому випадку це відношення після прокатування рівнялося 2,7, а в другому - 3,6. Тому важко рекомендувати стандартні прийоми керування анізотропією фізичних властивостей чистих металів і, тим більше, БКМ. У нашому випадку усунути анізотропію σ_B для цинкових листів і, відповідно, для БКМ на його основі, за допомогою відпалу здійснити не вдається.

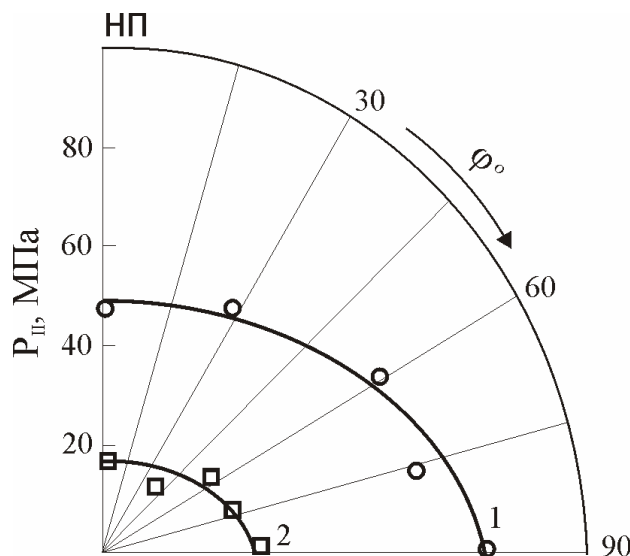


Рис. 2. Залежність мікронапруг P_{II} від кута φ для прокатаних до $\epsilon_\Sigma = 60\%$ зразків цинку (1) і кадмію (2).

З одного боку, в цинку виростають великі зерна з різко вираженою анізотропією, а з іншого — внаслідок збіжності для нього кристалографічних текстур прокатки та відпалу, анізотропія σ_B не зменшується. При перехресній прокатці листів Zn і Cd таку анізотропію усунути можна. Причому, контроль за її реалізацією можна здійснювати за допомогою методу термо-ЕРС. При виготовленні БКМ типу Cd-Zn слід враховувати передісторію виготовлення та розміщення в пакеті фольг компонентів, так як перехресна прокатка пакету, складеного без урахування цих особливостей, може не призвести до бажаного результату. Це важливо тому, що при перехресній прокатці в першу чергу змінюється анізотропний розподіл дислокацій, а при більших ступенях обтинення трансформується і кристалографічна текстура.

Крім анізотропії σ_B рентгенівським методом визначені залежності величин мікронапруг від кута φ . Незважаючи на те, що абсолютні значення напруг визначені з похибкою 20-50 %, їх відносні вимірювання дозволяють зробити висновок (рис.2), що мікронапруги (R_{II}) для базисної площини (0001) залежать від φ . В БКМ виявити анізотропію R_{II} не представлялось можливим через малу товщину шарів і неможливість виготовлення зразків, в яких площина, що відбиває, була б паралельна поверхні зразків.

IV. Висновки

Орієнтоване розміщення дефектів кристалічної будови є одним із визначальних факторів, що відповідає за формування анізотропії σ_B , R_{II} і, відповідно, E_T .

Аналізуючи анізотропію E_T у площині листів, можна, не руйнуючи матеріалу, оцінити стан анізотропії його фізико-механічних характеристик і контролювати її зміни при різноманітних зовнішніх впливах на матеріал.

К.О. Іваненко – провідний інженер НДЛ "Фізика металів та кераміки";

В.С. Копань – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики металів;

С.В. Рево – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач НДЛ "Фізика металів та кераміки";

В.П. Майборода – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу № 51 Інституту проблем матеріалознавства НАН України.

- [1] В.С. Копань, В.П. Майборода. Прочность слоистых материалов никель-серебро // *Порошковая металлургия*, **5**, с.81-83 (1974).
- [2] С.Л. Рево, В.П. Майборода, В.С. Копань. Механические свойства многослойных композиций сталь-медь // *Порошковая металлургия*, **11**, с.33-37 (1979).
- [3] К.О. Іваненко, С.Л. Рево. Роль дальнодіючих полів напруг в формуванні анізотропії фізичних властивостей металевих листів // *Вісник Київського університету*, Серія фізико-математичні науки, **3**, с.368-377 (1997).
- [4] Г.М. Зиненкова, Т.Н. Пашенко, Н.А. Тяпунова. О возможных механизмах деформационной полигонизации в цинке // *Взаимодействие между дислокациями и атомами примесей и свойства металлов*, с.38-48 (1974).

K.O. Ivanenko, V.S. Kopan', S.L. Revo, V.P. Maiboroda*

The Anisotropy of Properties of the Multilayered Cu-Zn and Cd-Zn Composite Materials in the Sheets' Plane

Kyiv National Taras Shevchenko University, 6, av. Glushkova,
Kyiv, 03022, tel.(044)266-2367, e-mail: revo@phys.univ.kiev.ua,

*Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science,
Ukraine, 3, Krzhizhanovski Str., Kiev, 03142, tel. (044)444-3364, e-mail: maiborod@ipms.kiev.ua

The anisotropy of a tensile strength limit σ_B and of a differential thermopower E_T in the sheets' plane of the multilayered Cd-Zn and Cu-Zn composite materials were investigated. The correlation between the angular dependences of σ_B and E_T has been found and has been shown to be determined mainly by the anisotropic distribution of the long-range stress fields dislocations rather than the crystalline texture.

Keywords: anisotropy, multilayered composite materials, strength limit, differential thermopower.