

ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ „КМН-2005”. – Львів, 2005. – С. 427 – 428. 12. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. – К.: КНУЦА, 1999. – 304 с. 13. Ямазучі К. Системи акустико-емісійного контролю. // Хіхакай кенса. – 1988, № 6. – С. 498 – 502. 14. CGR

Locamat: Multichannel acoustic emission source localization system / Prospect of Corporation CGR.– Paris, 1982. – 12 p. 15. MISTRAS 2001. AEDSP-32/16. User's manual. –Rev. 1. PAC Part Number 6300-1000, 1995. –300 p.

УДК 621.762:620.179.1

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТІВ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТІВ $Al-SiC$ МЕТОДАМИ АКУСТИЧНОЇ РЕЗОНАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

© Супруненко<sup>1</sup> М.О., Вдовиченко<sup>2</sup> О.В., Протасов<sup>1</sup> А.Г., 2006

<sup>1</sup>Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

<sup>2</sup>Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М. Францевича НАН України, м.Київ

*Приведені результати експериментального дослідження композитних матеріалів з алюмінієвою матрицею, зміцнених частинками карбіду кремнію. Дослідження проводилися резонансною ультразвуковою спектроскопією. Показано, що збільшення матричного розміру частинки зменшує модуль пружності композита в результаті наявних дефектів (пор і недосконалих контактів) у сформованих в агломератах частинок кераміки*

Композитні матеріали з алюмінієвою матрицею, що зміцнені частинками карбіду кремнію, привертають увагу розробників автомобільної та авіаційної техніки завдяки їх підвищених характеристик питомих пружності та міцності в порівнянні з базовими сплавами [1]. Використання прогресивних методів порошкової металургії робить ці матеріали комерційно привабливими через порівняно низьку вартість їх виготовлення та можливість одержання матеріалів з унікальними комбінаціями властивостей. Проте матеріали, виготовлені з порошків, обов'язково містять специфічні макродефекти, що зумовлені самим способом їх одержання, а саме наявністю об'ємних пор і двовимірних недосконалих міжчасткових контактів [2]. Ці макродефекти істотно впливають на експлуатаційні властивості виробів, тому неруйнівний контроль під час виготовлення є вирішальною операцією. В останні роки набула широкого розповсюдження резонансна акустична (або ультразвукова) спектроскопія (РУС). Вона полягає в експериментальному визначенні характеристик механічного резонансу (частот власних коливань зразків, ширини резонансної кривої) і подальшому розрахунку тензору пружності монокристалів та полікристалічних матеріалів [2, 3]. Методи РУС застосовують також для дослідження структури матеріалів, включно з композитними та порошковими матеріалами [4, 5].

Дана робота присвячена визначенню дефектності композитів  $Al-SiC$  методом РУС.

Було досліджено композити, виготовлені екструзією з витяжкою (відношенням початкового діаметру заготовки до діаметру зразка після екструзії) 17:1 з порошків швидкозагартованого сплаву  $Al-6\%Si-0,4\%Mn$  (мас.) та карбіду кремнію при температурі 400°C. Подробиці технології виготовлення наведено в роботі [7]. Об'ємний вміст  $SiC$  в композиті змінювали від 5 до 20%, середній розмір частинок металевого порошку становив 40...180 мкм для різних груп матеріалів, а керамічних частинок – 3...14 мкм. Для усунення дефектів, що містились на поверхнях, зразки після екструзії фрезерували до розмірів 50x5x3 мм.

Густину зразків визначали методом гідростатичного зважування, а мікроструктуру вивчали за допомогою оптичного мікроскопу на шліфах, виготовлених на поздовжніх перерізах зразків.

Всі ультразвукові вимірювання проводили в частотному діапазоні 10...200 кГц, тому вплив структурного розсіювання ультразвукової хвилі був мінімальним. Визначені характеристики відображають інтегральний відгук зразка на акустичне збудження і зумовлені інтегральними властивостями композитів.

Схема резонансних вимірювань зображена на рис.1. Досліджуваний зразок встановлювали між двома п'єзоелектричними перетворювачами таким чином, щоб контакт був у двох точках (кутах зразка), і знімали резонансний відгук зразка. Для забезпечення акустичного контакту між торцями

зразка і п'єзoeлектричними перетворювачами вводили краплю мінерального масла. Вся поверхня встановленого таким чином зразка, за винятком двох точок, була вільною. Тому вплив закріплення на рухомість зразка був мінімальним і коливання зразка можна вважати вільними. Перетворювач П1 збуджувався генератором електричних коливань і через точку контакту збуджував механічні коливання у зразку. Перетворювач П2 трансформував механічні коливання зразка в електричний сигнал, який після підсилення постулав для реєстрації і аналізу на осцилограф і комп'ютер. Частота сигналу, який задавався, сканували в попередньо вибраному діапазоні частот. При збігу частоти збудження з власною частотою будь-якої форми коливань зразка настував резонанс (рис. 2).

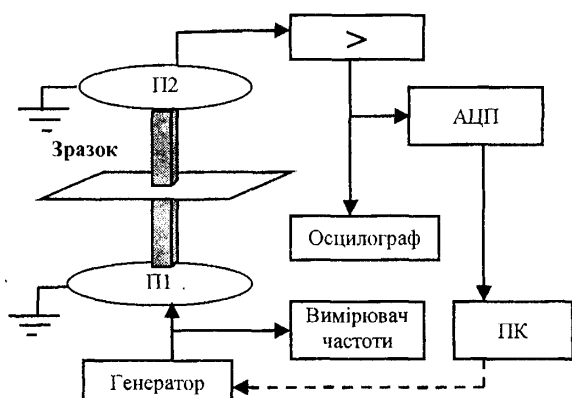


Рис. 1. Схема проведення резонансної ультразвукової спектроскопії

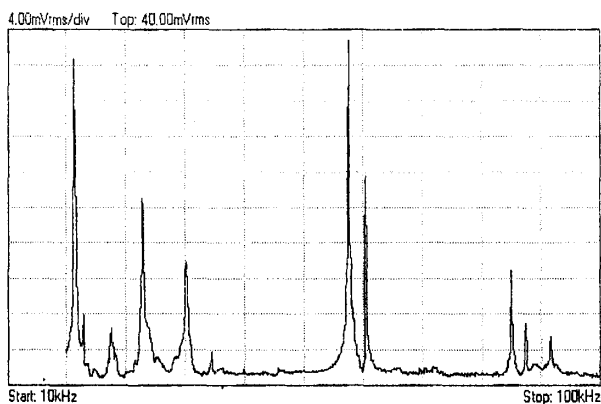


Рис. 2. Фрагмент типового резонансного спектру композиту AlCuMn-15%SiC

Виміряні частоти власних коливань зразків використовували для обчислення швидкості поширення пружних хвиль різних типів та модулів пружності досліджуваних матеріалів [8].

Мікрофотографії структури деяких досліджених композитів представлені на рис.3

З рис.3 видно, що при значному співвідношенні розміру частинок матриці з розміром частинок SiC (сірі багатокутники на мікрофотографіях) в

матеріалах утворюються агломерати частинок кераміки. Викришування частинок при підготовці шліфів (темні області на рис.3,б) свідчать про відсутність механічного зв'язку між частинками SiC в агломератах, що пояснюється низькою температурою формування композита. При відносно малих розмірах частинок порошку матриці частинки кераміки впресовуються в процесі екструзії в металеву матрицю (рис.3,а) і розподіляються по об'єму композита більш рівномірно.

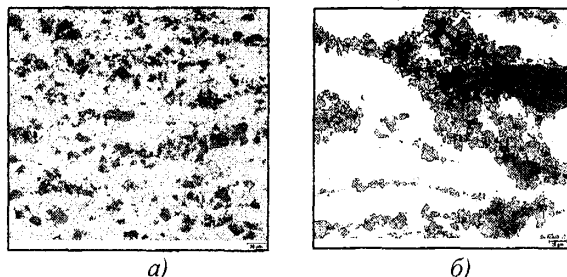


Рис. 3. Розподіл частинок SiC (14 мкм) в композиті AlCuMn-15%SiC: розмір частинок матриці: а) - 40 мкм; б) - 180 мкм

Рис. 4 свідчить про те, що швидкість поширення поздовжньої пружної хвилі в стержні  $V_b$  практично лінійно зменшується зі збільшенням середнього розміру частинок матриці. Залежність швидкості  $V_t$  має більш складний характер.

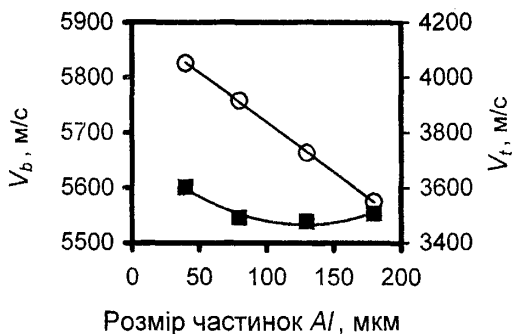


Рис. 4. Залежності швидкості поширення поздовжньої ультразвукової хвилі в стержні  $V_b$  (○) та зсувної хвилі  $V_t$  (■) від середнього розміру частинок матриці

На рис. 5 наведено результати обчислення модуля Юнга  $E$  матеріалів AlCuMn+15%SiC, з яких видно, що збільшення розміру частинок металічного порошку призводить до зменшення пружності композиту. Визначення густини матеріалу показали, що імовірно причиною зменшення характеристик пружності може бути наявність пор між частинками SiC. Однак, розрахунок показав, що значення модуль Юнга  $E_{\sigma_{\tau}}$ , розраховані у припущенні відсутності пор (рис.5) також зменшуються зі збільшенням розміру частинок матриці, що свідчить про вплив інших чинників.

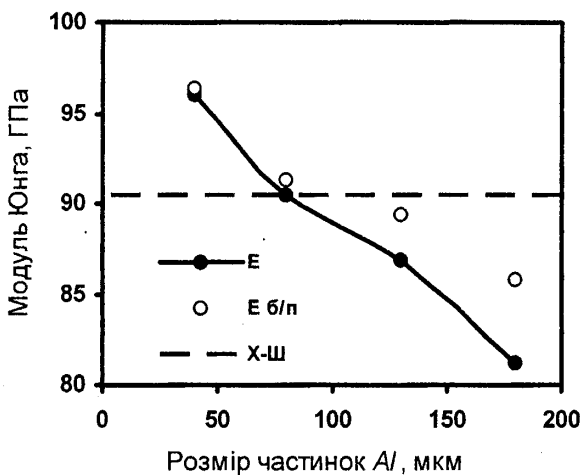


Рис.5. Залежність модуля Юнга композита  $AlCuMn+15\%SiC$  (●) від середнього розміру частинок матриці

Разом з тим, значення  $E$  композитів з розміром частинок  $AlCuMn$  130 мкм і 180 мкм лежать нижче значення, яке відповідає нижній межі Хашина – Штрікмана (Х-Ш - на рис. 5 позначена пунктирною лінією) [9], яка встановлює нижнє теоретично можливе значення модуля Юнга досконалих композитів зміцнених частинками. Очевидно, такий вплив може бути причиною наявності двовимірних дефектів.

Рис.6 свідчить про наявність кореляції між міцністю матеріалів і дефектністю, що визначалась як  $D = 1 - E/E_0$ . За  $E_0$  було обрано матеріал з найменшим розміром частинок матриці, дефекти в якому були практично відсутні.

Таким чином встановлено, що збільшення середнього розміру частинок матриці композитів  $AlCuMn/15\%SiC$  при сталому розмірі частинок  $SiC$  призводить до зниження модуля Юнга композита, викликаного наявністю як пор, так і планарних дефектів в агломератах частинок кераміки. Запропоновано за критерій придатності матеріалу вибрати нижню межу вилки Хашина-Штрікмана.

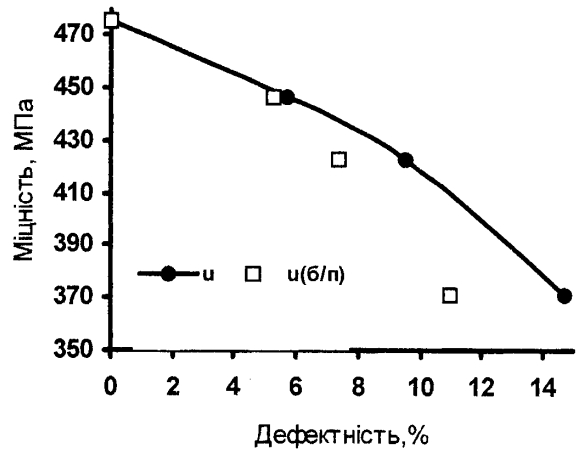


Рис.6. Залежність границі міцності матеріалів від дефектності

1. Ogel B., Gorbuz R. Microstructural characterization and tensile properties of hot pressed Al-SiC composites prepared from pure Al and Cu powders // *Mater. Sci. Eng.* – 2001, V. A301. – P.213-220. 2. Роман О.В., Скороход В.В., Фридман Г.Р. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии. – Минск: Выш. школа, 1989. – 182с. 3. Maynard J. Resonant ultrasound spectroscopy // *Physics Today* – 1996, V.49. – P.26-31. 4. Leisure R.G., Willis F.A. Resonant ultrasound spectroscopy // *J. Phys.: Condens. Matter* – 1997, V.9. – P.6001-6029. 5. Вдовиченко А.В., Иванченко Л.А., Пинчук Н.Д. Определение характеристик упругости композитов на основе кальция методом резонансной ультразвуковой спектроскопии // *Металлофиз. новейшие технол.* – 2004, т.26, №9. – С.1215-1226. 6. Вдовиченко А.В., Подрезов Ю.Н. Эволюция динамического модуля Юнга и демпфирующей способности пористого железа // *Металлофиз. новейшие технол.* – 2005, т.27, №11. – С.1429-1440. 7. Воронаев В.С., Вдовиченко А.В., Слипенок А.Н. Влияние степени деформации на формирование микроструктуры композита из порошков быстрого кристаллизованного сплава Al-Cu-Mn и карбида кремния // *Металлофиз. новейшие технол.* – 2004, т.26, №6. – С.831-839. 8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 248с. 9. Hashin Z., Shtrikman S. A variational approach to the theory of the elastic behavior of multiphase materials // *J. Mech. Phys. Solids* – 1963, V.11. – P.127.-140.