УДК: 620.179.16 (669.717:621.791.3)

Г.В. Приходько[1], О.С. Приходько[1], Р. Новак[2], Г. Бружда[2], Н. Собчак[2.3], А.В. Маткова[1], І. Кабан[4]

[1]*Луцький національний технічний університет*
[2]*Foundry Research Institute, 73 Zakopianska St., 30-148, Krakow, Poland*
[3]*Institute of Precision Mechanics, 3 Duchnicka Str., 01-796 Warsaw, Poland*
[4]*IFW Dresden, Institute for Complex Materials, Helmholtzstr. 20, 01069 Dresden, Germany*

ПРО ЗМОЧУВАННЯ ДИБОРИДУ ТИТАНУ TIB2 СПЛАВОМ Al88Si12 ПРИ КОНТАКТНОМУ НАГРІВІ

Досліджено змочування дибориду титану евктектичним сплавом Al88Si12 за методом контактного нагрівання, встановлено залежності кутів змочування від температури.

Ключові слова: *диборид титану, сплав Al88Si12, контактне нагрівання, змочування.*

Г.В. Приходько, О.С. Приходько, Р. Новак, Г. Бружда, Н. Собчак, А.В. Маткова, И. Кабан

О СМАЧИВАНИИ ДИБОРИДА ТИТАНА TIB2 СПЛАВОМ Al88Si12 В СЛУЧАЕ КОНТАКТНОГО НАГРЕВА

Проведено исследование смачивания диборида титана эвтектическим сплавом методом контактного нагревания, получены зависимости углов смачивания от температуры.

Ключевые слова: *диборид титана, сплав Al88Si12, контактный нагрев, смачивание.*

H. Prykhodko, O. Prykhodko, R. Nowak, G. Bruzda, N. Sobczak, A. Matkova, I. Kaban

ABOUT WETTING OF TITANIUM DIBORIDE BY Al88Si12 ALLOY BY CONTACT HEATING

The wetting of titanium diboride by Al88Si12 alloy has been investigated by the contact heating technique, the temperature dependences of the wetting anglehas been determined.

Keywords: *titanium diboride, wetting, Al88Si12 alloy, method of contact heating.*

Постановка проблеми. Розвиток сучасного матеріалознавства і потреба в нових матеріалах з високими експлуатаційними характеристиками, зокрема високотемпературних надміцних керамік, приводить до необхідності вивчення способів обробки та з'єднання цих матеріалів в різних поєднаннях. В зв'язку з цим, розробка технологій спаювання та зварювання керамік є важливою проблемою, а дослідження адгезії та змочування залишається високоактуальним і на даний час.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з головних факторів, які забезпечують високу адгезивну міцність та якісне з'єднання є змочування поверхні з'єднуваних частин рідким металом-з'єднувачем. Змочування вважається хорошим, якщо кут змочування становить менше 90^0, однак, для практичного застосування ця умова формулюється більш жорстко – крайовий кут змочування повинен лежати в діапазоні $20\text{-}30^0$ [5]. Проблеми і результати досліджень змочування дибориду титану розплавом чистого алюмінію викладено в праці [7]. Було встановлено крайові кути змочування за температури 1300^0C.

Дослідження змочування дибориду титану алюмінієвими сплавами є важливим ще і тому, що порошки керамік, в тому числі дибориду титану, використовується для наноструктуризації виробів, виготовлених 3D друком технологією селективного лазерного нагрівання. Наприклад, в статтях [1-4] було показано, що додавання керамічних мікро- або наночастинок-інокулянтів до алюмінієвих сплавів суттєво поліпшує мікроструктуру виробів та їх фізико-механічні характеристики. Зокрема, в роботі [8] були проведені дослідження впливу мікропорошку дибориду титану на мікроструктуру та кристалічну текстуру алюмінієвого сплаву Al-12Si і показано, що додання домішки TiB2 значно підвищує текучість і мікротвердість сплаву.

Постановка завдань. В даній роботі проведено дослідження змочування керамічних пластинок TiB2 евтектичним алюмінієво-кремнієвим сплавом Al88Si12 за методом контактного нагрівання (CH - contact heating) до температури 800°C, 900°C і 1000°C та ізотермічної витримки протягом 30 хв.

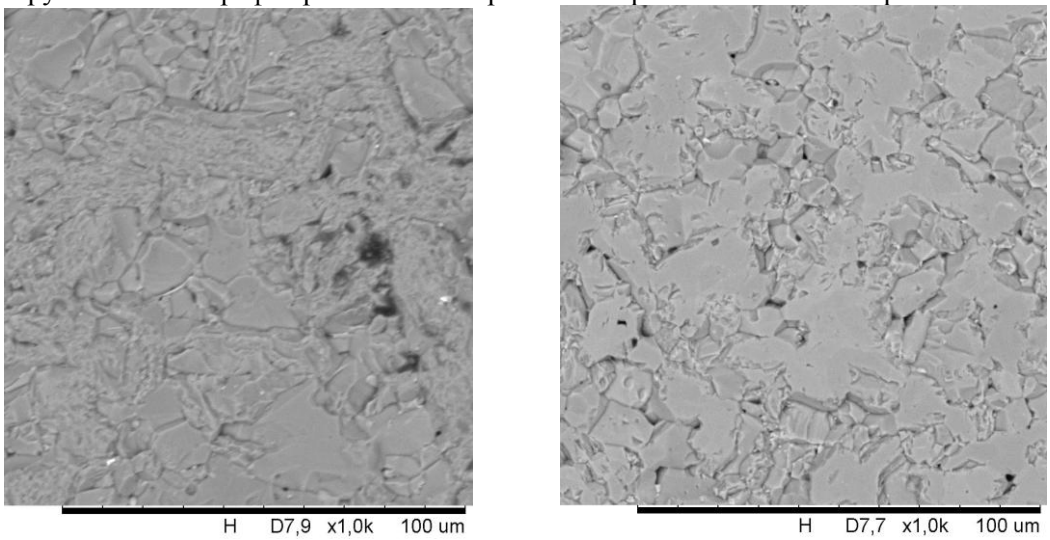
Викладення основного матеріалу. Дослідження проводилось на унікальному обладнанні Центру високотемпературних досліджень Інституту ливарництва в м. Кракові. Детальний опис обладнання можна знайти, наприклад, в каталозі [6].

© Г.В. Приходько, О.С. Приходько, Р. Новак, Г. Бружда, Н. Собчак, А.В. Маткова, І. Кабан

В якості зразків для досліджень використовувались пластинки з дибориду титану розміром 15 мм х 15 мм х 3 мм та евтектичний сплав Al88Si12 у вигляді прутка діаметром ~5мм. Методика контактного нагрівання полягає в одночасному нагріванні пластинки зі шматочком зразка об'ємом близько 100 мм^3 до заданої температури і витримуванні протягом заданого часу.

Підготовка до досліду.

Перед високотемпературним дослідженням пластинки дибориду титану були відполіровані на полірувально-шліфувальній машині Struers TegraPol-31 та обезжирені ізопропіловим спиртом в ультразвуковій ванні. Пруток сплаву Al88Si12 було нарізано на шматочки висотою ~5 мм і очищено від оксидів. На фотографіях рисунку 1 показана мікроструктура поверхні пластинок до та після полірування. Фотографії зроблено електронним мікроскопом TM3000 при збільшенні 1000х.



а) б)

Рис. 1. **Поверхня пластини TiB2 до (а) та після (б) полірування.**

Методика проведення досліду.

Пластинка дибориду титану та зразок алюмінієвого сплаву розміщувались на керамічній підставці (Al_2O_3), яка розміщувалась всередині однієї із випробувальних камер експериментального приладу. Дослідження проводилось при глибокому вакуумі з тиском порядку 10^{-6} – 10^{-5} Па для уникнення впливу атмосферного кисню та азоту на компоненти сплаву та пластинки. Пластинка зі сплавом нагрівалась до заданої температури і витримувалась півгодини при цій температурі. Швидкість нагріву та охолодження підтримувалась на сталому рівні і складала 15 ^{0}С/хв для нагріву та 20 ^{0}С/хв для охолодження.

Під час експерименту контролювалась температура та тиск всередині випробувальної камери, та велась відеозйомка зразка зі швидкістю 100 кадрів в секунду.

Для визначення кутів змочування і діаметру краплі з отриманих фотографій зразка на пластинці було розроблено спеціальне програмне забезпечення. Для побудови полінома, що описує форму краплі в областях контакту використовувався числовий метод найменших квадратів. Кут змочування визначався як арктангенс похідної від отриманого полінома в точці контакту краплі з поверхнею пластинки. Результати автоматичного розрахунку кутів контролювались ручним (графічним) методом в кількох ключових моментах експерименту.

Результати обрахунків результатів експерименту при температурі витримки 900^{0}С показано на графіках (рис. 2). На рисунку також показано фото пластинки з краплею сплаву після експерименту, а також кілька кадрів відеозйомки (початок, середина та кінець досліду).

Із наведених графіків видно, що при температурах 880-890 (^{0}С) починається різке зменшення кута змочування. Перехід через кут 90^0 відбувається вже за 7-8 хвилин витримки при температурі 900 ^{0}С.

© Г.В. Приходько, О.С. Приходько, Р. Новак, Г. Бружда, Н. Собчак, А.В. Маткова, І. Кабан

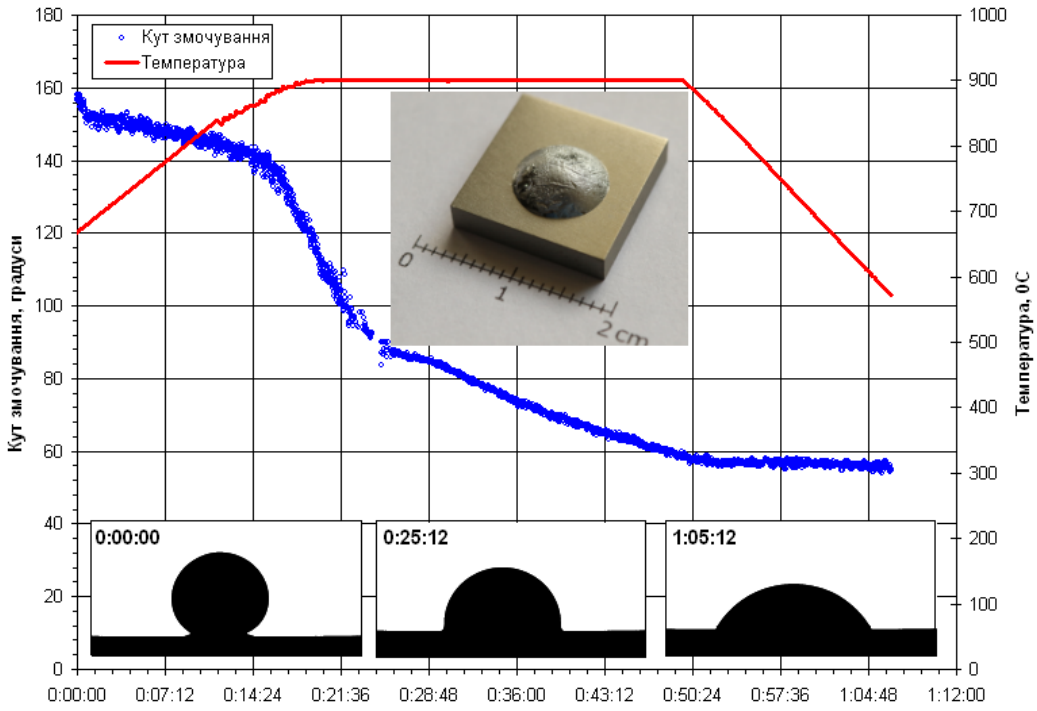


Рис. 2. **Результати дослідження змочування методом контактного нагрівання та ізотермічної витримки при 900^{0}С**

Швидкість зменшення кута змочування при цьому складає ~4,5 ^{0}С /хв, а при після досягнення їм величини близько 75^0 стабілізується на рівні ~1.1 ^{0}С /хв. Після завершення експерименту усереднений кут змочування встановився на величині ~56^0.

На рис. 3 подано результати розрахунків кута змочування для температури 1000 ^{0}С.

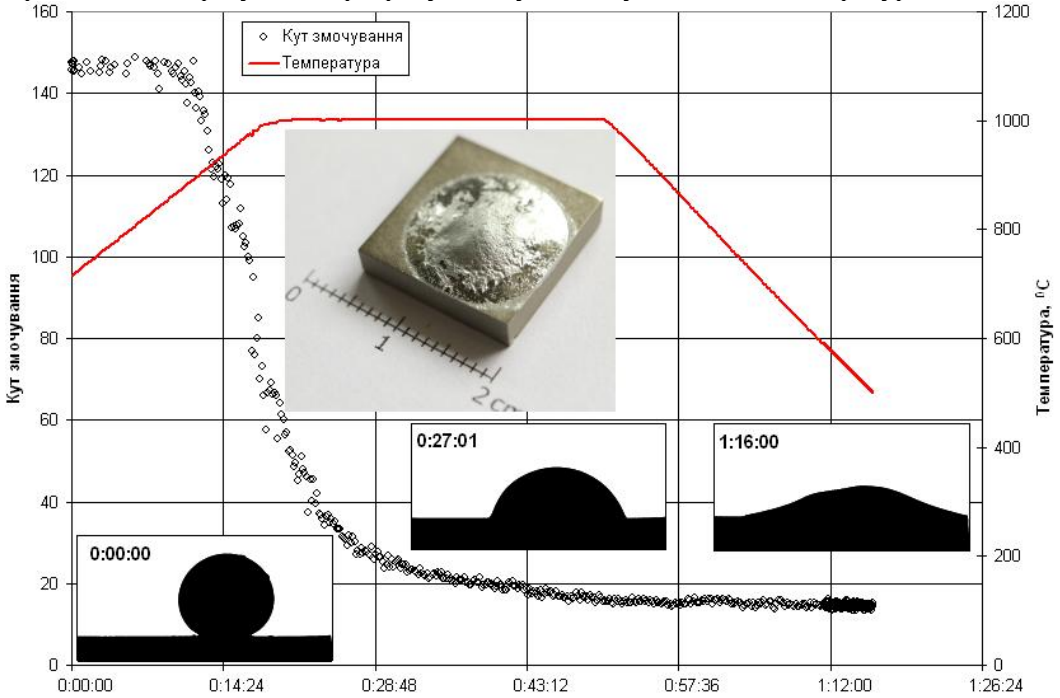


Рис. 3. **Результати дослідження змочування методом контактного нагрівання та ізотермічної витримки при 1000 ^{0}С, СН**

Динаміка кута змочування тут зовсім інша. Різке зменшення кута змочування починається при тій же температурі, що і в попередньому експерименті, проте швидкість зменшення значно вища і рівна ~10 /хв. При досягненні величини ~40^0 швидкість зміни кута змочування падає за експоненційним законом і через ~20 хв витримки при 1000 ^{0}С стає практично рівною нулю. Кут

© Г.В. Приходько, О.С. Приходько, Р. Новак, Г. Бружда, Н. Собчак, А.В. Маткова, І. Кабан

змочування після завершення експерименту становить 22^0. На рисунку 4 представлено також фотографію пластинки зі зразком до експерименту.

При температурах нижче 850^0C швидкість змочування значно знижується. Це добре видно на графіках експерименту, де пластинка з краплею витримувалась при температурі 800^0C (рис. 4). Швидкість зменшення кута змочування 0,23 ^{0}C/хв. Переходу через кут 90^0 не відбулось, і кут змочування після завершення експерименту залишився досить великим (~113^0).

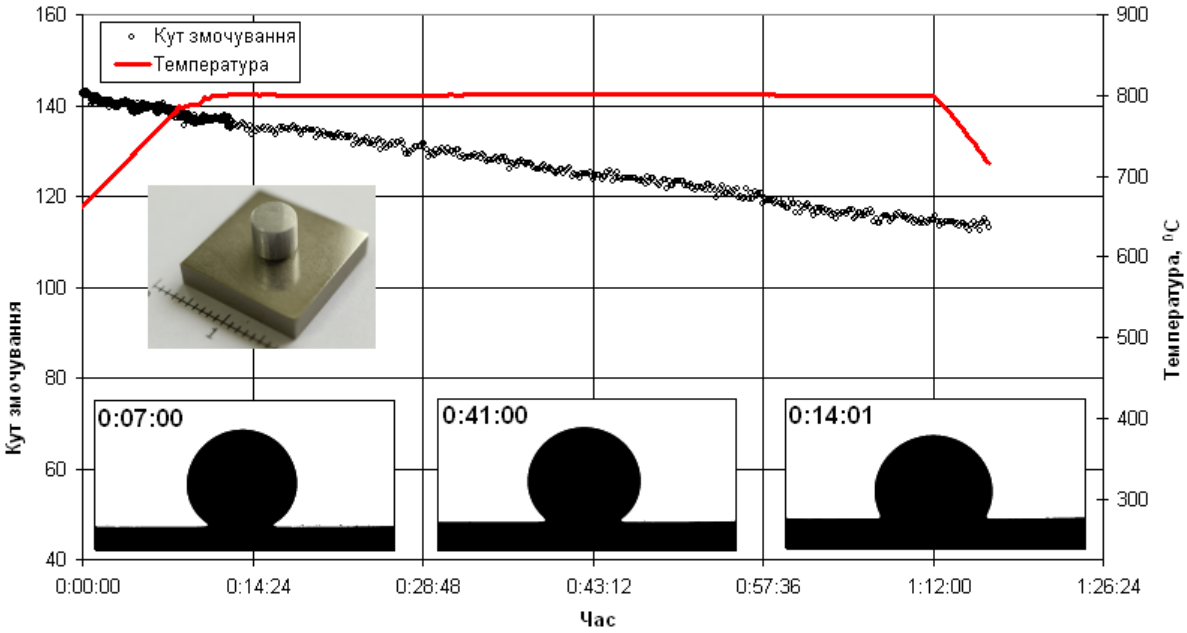


Рис. 4. **Результати дослідження змочування методом контактного нагрівання та ізотермічної витримки при 800 ^{0}C, СН**

Висновки. Було проведено дослідження змочування пластинок дибориду титану алюмінієво-кремнієвим сплавом Al88Si12 методом контактного нагрівання при різних температурах. Отримані результати оброблено і зведено в графіки, з яких видно, що різке зменшення кута змочування починається при температурах 880-890 ^{0}C. При температурі 1000 ^{0}C мінімальний кут змочування встановлюється на рівні 22^0 і практично не змінюється при подальшій витримці.

Список використаних джерел:

1. A.L. Greer, Overview: application of heterogeneous nucleation in grain-refining of metals, J. Chem. Phys. 145 (2016) 211704 (14 pp).
2. D. Gu, H. Wang, D. Dai, P. Yuan, W. Meiners, R. Poprawe, Rapid fabrication of Al-based bulk-form nanocomposites with novel reinforcement and enhanced performance by selective laser melting, Scripta Mater. 96 (2015) 25–28.
3. J.H. Martin, B.D. Yahata, J.M. Hundley, J.A. Mayer, T.A. Schaedler, T.M. Pollock, 3D printing of high-strength aluminium alloys, Nature 549 (2017) 365–370.
4. X. Li, G. Ji, Z. Chen, A. Addad, Y. Wu, H. Wang, J. Vleugels, J. Van Humbeeck, J.-P. Kruth, Selective laser melting of nano-TiB2 decorated AlSi10Mg alloy with high fracture strength and ductility, Acta Mater. 129 (2017) 183–193.
5. Naidich Y. V. Advance in the theory of ceramic/liquid metal systems wettability. Peculiarity of contact processes for transition and non–transition metals // Адгезия расплавов и пайка материалов. 46 (2013) 3–62.
6. Instrumentation of Centre for high temperature studies, Foundry Research Institute. Page 38; online at: https://iod.krakow.pl/wp-content/uploads/2018/10/katalog-_EN.pdf
7. L. Xi, I. Kaban, R. Nowak, B. Korpała, G. Bruzda, N. Sobczak, N. Mattern, J. Eckert, High-temperature wetting and interfacial interaction between liquid Al and TiB2 ceramic, J. Mater. Sci. 50 (2015) 2682–2690.
8. L. Xi, P. Wang K.G. Prashanth, H. Li, H.V. Prykhodko, S. Scudino, I. Kaban, Effect of TiB2 particles on microstructure and crystallographic texture of Al-12Si fabricated by selective laser melting, J. Alloys Compds. 786 (2019) 551–556.

Стаття надійшла до редакції 05.05.2019

© Г.В. Приходько, О.С. Приходько, Р. Новак, Г. Бружда, Н. Собчак, А.В. Маткова, І. Кабан