

DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.2.167784

УДК 669.018.9

Я.О. Смірнова*, Є.В. Солодкий, І.М. Гурія, П.І. Лобода

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

*corresponding author: yana.luschay@gmail.com

КІНЕТИКА ФОРМУВАННЯ ПЕРЕХІДНОГО ШАРУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ Ti-TiB З РІДКИМ АЛЮМІНІЄМ

Проблематика. Титан, алюміній та їх сплави широко використовуються для деталей автомобільної, аерокосмічної та хімічної індустрії завдяки низькій густині, високій питомій міцності та корозійній стійкості. Більше того, композиційні матеріали системи Al-Ti є надзвичайно привабливими і перспективними. Однак технологічний процес отримання титан-алюмінієвих композиційних матеріалів, який полягає у твердофазовій взаємодії, зазвичай складний. Більш прості та ефективні рідиннофазові методи, які полягають у формуванні титанового каркасу та його подальшому просочуванні розплавом алюмінію, непоширені та малорозвинені. Незважаючи на досягнення металургійного з'єднання між титаном і алюмінієм, при виготовленні композитів інтерфейс є недосконалим, що негативно відображається на їх функціональних властивостях. Титан-матричні композити (ТМК), які є відносно новим класом матеріалів, являють собою матрицю з титанового сплаву, армовану керамічними волокнами, і покликані кардинально підвищити фізико-механічні властивості виробів. Саме тому в роботі пропонується вивчити взаємодію ТМК (Ti-TiB) із розплавом алюмінію та отримати унікальну армовану межу розділу при взаємодії титан-алюміній.

Мета дослідження. Вивчення кінетики взаємодії композиту Ti-TiB та рідкого алюмінію для отримання нового композиційного матеріалу (Ti-TiB)-Al з підвищеними фізико-механічними властивостями.

Методика реалізації. Занурення та витримка підготованих пластин титану, армованого боридом титану, в розплаві алюмінію з подальшим охолодженням на повітрі. Дослідження мікроструктури та фазового складу зони взаємодії. Визначення мікротвердості структурних складових.

Результати дослідження. Зображення мікроструктури та мікрорентгеноспектральний аналіз у точках на межі взаємодії композита і розплаву показали наявність трьох зон: титану, армованого волокнами бориду титану, перехідного інтерметалідного шару і алюмінію, армованого включеннями. Установлено, що збільшення часу витримки композита в розплаві сприяє переходу волокон бориду титану в розплав, тим самим збільшуючи товщину рівномірно армованого шару алюмінію. Наявність в алюмінії волокон бориду титану та включень інтерметалідів значно підвищує його мікротвердість.

Висновки. Уперше встановлено, що при витримці композита Ti-TiB у розплаві алюмінію між ними відбувається взаємодія з утворенням перехідного інтерметалідного шару та зони алюмінію, армованого включеннями. Результати досліджень свідчать про перспективність отримання металокерамічних композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Ключові слова: титан; алюміній; борид титану; композиційний матеріал.

Вступ

Низька густина, висока корозійна стійкість та високі значення питомої міцності роблять привабливими титан, алюміній та їх сплави при виготовленні легких корозійно-стійких деталей для аерокосмічної, автомобільної, хімічної індустрії [1–3].

Досить поширені на сьогодні титан-алюмінієві композиційні матеріали, міцнісні характеристики яких перевершують гомогенні вихідні метали, отримують як твердофазовими (зварювання вибухом [4–8], холодна [9, 10] та гаряча прокатка [11, 12], дифузійне з'єднання [1, 2]), методи порошкової металургії, такі як двонаправлене мікрохвильове спікання [13],

іскро-плазмове спікання [14, 15] тощо), так і рідиннофазовими методами (просочування [3], лиття зі вставками [16], наплавлення [17]).

Проте отримання високоміцних легких композиційних матеріалів зазвичай є технологічно складним багатостадійним процесом: титан і алюміній попередньо з'єднують прокаткою, спіканням, зварюванням вибухом із подальшою термічною обробкою отриманих заготовок за умов різних технологічних факторів, таких як час, температура, а іноді й тиск [2, 4, 6, 14, 17]. Самі ж вироби, у багатьох випадках, обмежені за розмірами.

З точки зору простоти технологічного процесу отримання композиційних матеріалів системи титан-алюміній, досить ефективними

є не поширені та малорозвинені рідиннофазові методи.

Так, у роботі [17] для встановлення можливості отримання шаруватих інтерметалідних композиційних матеріалів проводили витримку рідкого алюмінію на титановій основі протягом різного часу за різної температури в атмосфері повітря з використанням флюсу та без нього. Було встановлено, що час витримки рідкого алюмінію на титановій основі більшою мірою впливає на ширину та щільність інтерметалідного шару, ніж температура. Використання флюсу на основі бури сприяє утворенню більш товстого та щільного шару інтерметалідів. Ніє та інші [16] проводили дослідження зони взаємодії титану й алюмінію у композиті, отриманому зануренням та витримкою титанових стрижнів у розплаві алюмінію. Було встановлено, що час термообробки та умови охолодження впливають на товщину і структуру утвореного в результаті взаємодії перехідного шару. Середня межа міцності на зсув сягала близько 60 МПа. Хошаль та інші [18] при вивченні кінетики утворення інтерметалідних сполук у системі Al-Ti через занурення листів титану в розплавлений алюміній за різної температури та на різний час встановили, що утворений перехідний шар потовщується зі збільшенням часу обробки листів. Єдиним інтерметалідом на межі розділу твердого титану та розплавленого алюмінію є сполука $TiAl_3$, яка формує перехідний шар. Для створення нового каркасного композита в роботі [3] проводили просочування спеченого титану алюмінієм в атмосфері аргону. В результаті взаємодії титану й алюмінію було виявлено інтерметалідні сполуки Ti_xAl_y . Міцність на розтяг отриманого каркасного матеріалу становила 410 МПа.

Незважаючи на досягнення металургійного з'єднання між титаном і алюмінієм [16], при виготовленні композитів інтерфейс є недосконалим [3], що негативно відображається на їх функціональних властивостях. Титан-матричні композити (ТМК) – досить новий клас матеріалів, який являє собою матрицю з титанового сплаву, армовану керамічними волокнами, і має значно підвищені фізико-механічні властивості [19]. Саме тому в роботі пропонується вивчити взаємодію ТМК (Ti-TiB) із розплавом алюмінію та отримати унікальну армовану межу розділу на межі взаємодії титан–алюміній, а дослідження кінетики взаємодії ТМК та рідкого алюмінію є

важливим для отримання нового металокерамічного композиційного матеріалу (Ti-TiB)-Al з підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Постановка задачі

Основною метою роботи є вивчення кінетики взаємодії титану, армованого боридом титану, та рідкого алюмінію. Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити вплив часу витримки пластини титанового композита в розплаві алюмінію на мікроструктуру та фазовий склад у зоні їх взаємодії та визначити мікротвердість структурних складових.

Матеріали і методи

Як вихідні матеріали використовували Al чистотою 99 % і титан, армований волокнами бориду титану, вміст яких становив 11 об. %. Титановий композит отримували методом електронно-променевого переплавлення з подальшим прокатуванням. Після прокатування поверхню пластин відшліфували з метою видалення окиснів та інших домішок. Для дослідів використовували пластини розмірами 18×14×3 мм.

Занурення та витримку композитних пластин проводили в печі опору протягом 15, 30 та 60 хв за температури 730–750 °С. Охолодження зразків проводили на повітрі.

Товщину реакційного шару поверхні взаємодії алюміній–армований титан досліджували з використанням скануючого електронного мікроскопа РЕМ-106И з енергодисперсійним аналізатором хімічного складу.

Для дослідження фазового складу використовували дифрактометр Rigaku Ultima-IV з Cu-випромінюванням.

Визначення мікротвердості зразків проводили за методом Віккерса, який регламентується державним стандартом ДСТУ ISO 6507-1:2007, на приладі ПМТ-3. Випробування проводили за навантаження $F = 1$ Н. Час витримки зразка під навантаженням – 10 с.

Результати й обговорення

Мікроструктура та фазовий склад зони взаємодії. Аналіз мікроструктури (рис. 1) показав, що на межі розділу між титаном і алюмінієм можна виділити такі три зони:

– титану, армованого волокнами бориду титану;

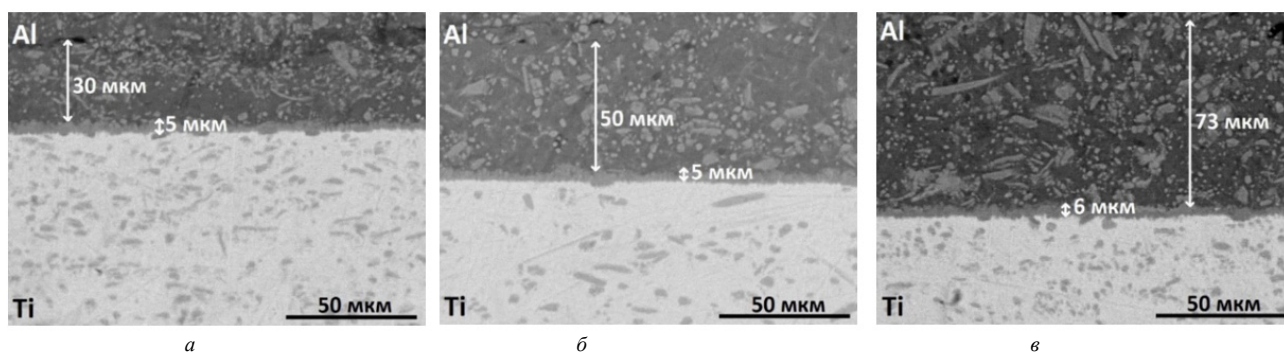


Рис. 1. Мікроструктура перехідного шару й алюмінію, армованого рівномірно розподіленими включеннями на зразках, витриманих протягом 15 (а), 30 (б) та 60 (в) хв

- перехідного шару;
- алюмінію, армованого включеннями.

Установлено, що під час взаємодії між титаном, армованим боридом титану, та розплавом алюмінію товщина перехідного шару практично не змінюється зі збільшенням часу витримання і в середньому становить 5-6 мкм (див. рис. 1).

Товщина шару алюмінію, армованого рівномірно розподіленими включеннями, збільшується від 30 до 73 мкм зі збільшенням часу витримання пластини у розплаві від 15 до 60 хв (рис. 1, 2).

Проведення мікрорентгеноспектрального аналізу в точках показало наявність інтерметалічної фази алюмінідів титану в зоні взаємодії титановий композит–розплав алюмінію для експериментальних зразків, витриманих протягом різного часу (рис. 3).

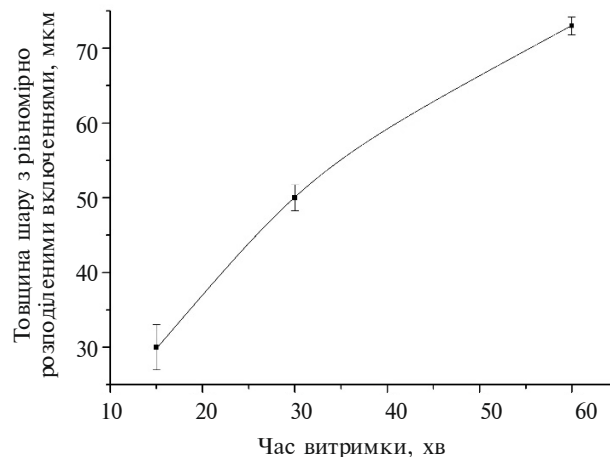


Рис. 2. Графік залежності товщини шару алюмінію, армованого рівномірно розподіленими волокнами бориду титану, від часу витримання зразка у розплаві

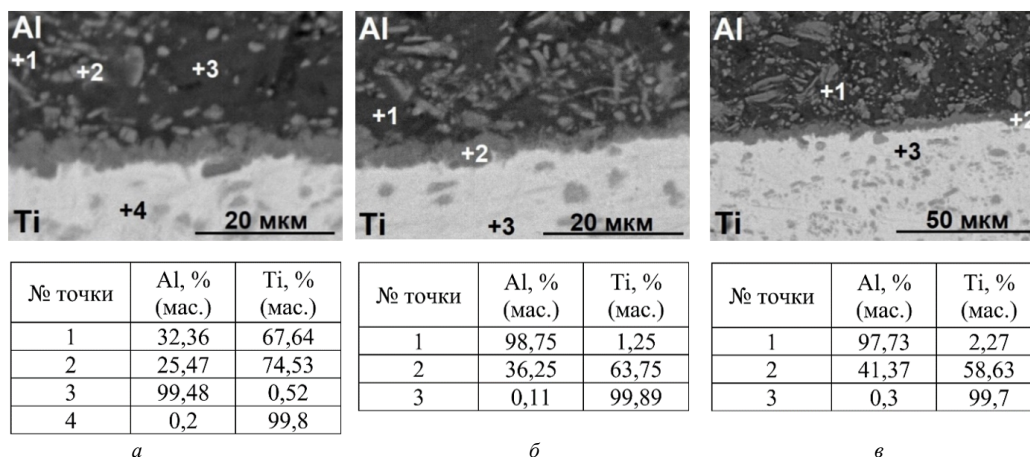


Рис. 3. Мікрорентгеноспектральний аналіз у точках зони взаємодії на зразках, витриманих протягом 15 (а), 30 (б) та 60 (в) хв

За даними рентгеноструктурного аналізу, в зоні алюмінію, армованого включеннями, крім інтерметалідної фази AlTi, наявна фаза бориду титану, що свідчить про їх перехід із вихідної пластини титанового композита.

Мікротвердість структурних складових.

Мікротвердість за Віккерсом HV для чистих титану й алюмінію становить від 0,5 до 0,88 ГПа і вище [20] та 0,167 ГПа відповідно [21]. Середнє значення мікротвердості вихідних пластин титану, армованого боридом титану, становить 3,06 ГПа. У результаті взаємодії алюмінієвого розплаву з титановим композитом значення мікротвердості алюмінієвої частини збільшилося до 1,1, 1,16 та 1,17 ГПа для 15, 30 та 60 хв витримки відповідно (рис. 4). Такі підвищення мікротвердості можуть бути спричинені наявністю волокон бориду титану та інтерметалідних включень в алюмінієвих частинах. Час витримки не впливає на мікротвердість зон армованого алюмінію.

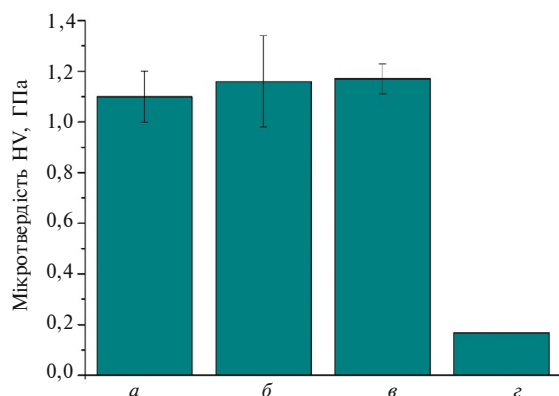


Рис. 4. Мікротвердість за Віккерсом HV зон алюмінію, армованого включеннями, після витримки протягом 15 (а), 30 (б) та 60 (в) хв та вихідного алюмінію (з) [21]

Оскільки товщина перехідного інтерметалідного шару занадто мала і отримати достовірні результати для порівняння з іншими структурними складовими досить складно, вимірювання його мікротвердості не проводилося.

Механізм взаємодії титану, армованого боридом титану, та розплаву алюмінію. Механізми взаємодії твердого титану й алюмінію як у твердому, так і в рідкому стані є відомими [16, 18, 22–24]. Однак процес взаємодії твердого титану, армованого боридом титану, який є перспективним конструкційним матеріалом, із рідким алюмінієм досі не вивчений.

Порівнявши одержані нами результати із даними вже опублікованих праць, можна ска-

зати, що процеси взаємодії як чистого титану, так і титанового композита будуть дещо схожими. Так, наприклад, у досліджених зразках, як і в роботах [16, 18], спостерігається утворення перехідного шару, товщина якого залежить від часу взаємодії титану з розплавом алюмінію.

Автори [23] стверджують, що одразу по тому, як тонкий шар інтерметалідів утворюється на межі взаємодії титан–алюміній, контакт між металами припиняється, а подальший ріст шару відбувається за рахунок дифузії титану й алюмінію через інтерметалід. У роботі [24] підтверджено, що у розглянутій бінарній системі як титан, так і алюміній беруть участь у процесі дифузії незалежно від температури (вище або нижче температури плавлення алюмінію).

Як вказують автори [18, 23], у зв'язку зі значними відмінностями між молярними об'ємами титану та його алюмінідів утворений інтерметалідний шар перебуває в напруженому стані, що призводить до його розтріскування та руйнування. Внаслідок цього відділені фрагменти шару оголюють поверхню титану, де між ним та рідким алюмінієм відновлюється хімічна реакція.

Враховуючи сказане вище, механізм взаємодії титану, армованого боридом титану, та розплаву алюмінію можна пояснити так: у результаті холодного прокатування поверхня вихідного титанового композиційного матеріалу має дефектну структуру, яка сприяє утворенню зерен інтерметалідів, а контактування твердої вихідної пластини з розплавом алюмінію прискорює дифузії атомів титану, що збігається з думкою авторів [24].

Після утворення перехідного інтерметалідного шару на межі взаємодії титан–алюміній та досягнення у ньому критичних напружень відбувається його розтріскування. Оскільки в тиглі печі існують теплові потоки, то відділені при руйнуванні перехідного шару інтерметалідні фрагменти переносяться від поверхні взаємодії вглиб розплаву [23, 25], тим самим оголюючи як титанову основу, так і волокна бориду титану, що знаходяться в ній. У ході повторного процесу утворення, руйнування та відділення фрагментів інтерметалідного шару відбувається повне видалення волокон бориду титану з титанової матриці. Подальший перенос волокон в алюмінієву частину, як і інтерметалідних фрагментів, відбувається за рахунок теплових потоків у розплаві.

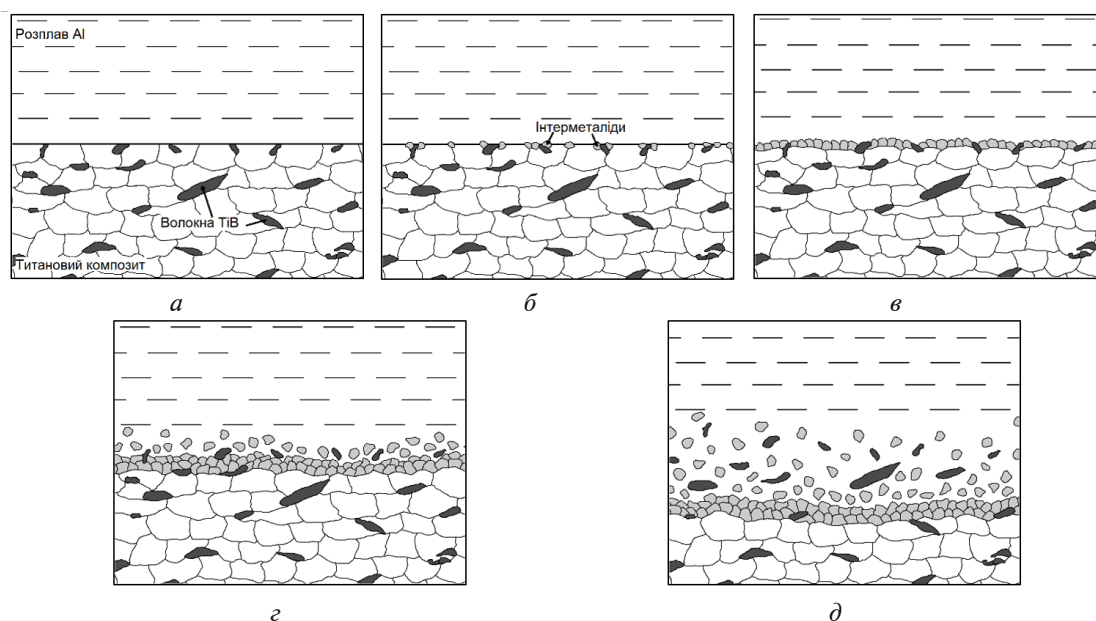


Рис. 5. Схема процесу армування алюмінію боридом титану та інтерметалідами: *a* – перший момент після занурення пластини до розплаву; *б* – утворення інтерметалідів на межі розділу; *в* – ріст інтерметалідного шару; *г* – ріст інтерметалідів та перехід їх зерен у розплав; *д* – перехід інтерметалідів і волокон бориду титану в розплав

Представлений механізм взаємодії титану, армованого боридом титану, та розплаву алюмінію, з урахуванням отриманих результатів експериментів, їх аналізу та попередніх досліджень [23–25], зображено на рис. 5.

Висновки

Уперше встановлено, що при витримці ТМК Ti-TiB у розплаві алюмінію між ними відбувається взаємодія з утворенням перехідного інтерметалідного шару та зони алюмінію, армованого включеннями.

Дослідження кінетики процесу фізико-хімічної та дифузійної взаємодії ТМК і алюмінію показало, що збільшення часу витримки композита в розплаві сприяє переходу волокон бориду титану в Al, тим самим збільшуючи товщину рівномірно армованого шару алюмінію.

Представлено схему механізму взаємодії титану, армованого боридом титану, та розпла-

ву алюмінію, який полягає в утворенні інтерметалідів на межі взаємодії титан-алюміній, їх руйнуванні та переході в алюмінієвий розплав, що спричиняє вивільнення волокон бориду титану в результаті розчинення титанової матриці та їх переходу до алюмінієвої частини.

Дослідження мікромеханічних властивостей утворених структурних складових показало значне підвищення мікротвердості алюмінієвої частини порівняно з гомогенним металом (1,1–1,17 ГПа для армованого алюмінію та 0,167 ГПа для вихідного). Така зміна значень може відбуватися за рахунок наявності волокон бориду титану та інтерметалідів у алюмінієвій частині.

Перспективами подальших досліджень є отримання метало-керамічних композиційних матеріалів системи (Ti-TiB)-Al з підвищеними фізико-механічними характеристиками завдяки формуванню нероз’ємних з’єднань

References

- [1] M.S. Kenevisi *et al.*, “Microstructural evaluation and mechanical properties of the diffusion bonded Al/Ti alloys joint”, *Mech. Mater.*, vol. 54, pp. 69–75, 2013. doi: 10.1016/j.mechmat.2013.04.011
- [2] Y. Wei *et al.*, “Formation process of the bonding joint in Ti/Al diffusion bonding”, *Mater. Sci. Eng., A*, vol. 480, no. 1–2, pp. 456–463, 2008. doi: 10.1016/j.msea.2007.07.027
- [3] S. Kim *et al.*, “A novel method to fabricate reinforced Ti composites by infiltration of Al (Mg) into porous titanium”, *J. Alloys Compd.*, vol. 715, pp. 404–412, 2017. doi: 10.1016/j.jallcom.2017.05.014

- [4] L. Qin *et al.*, “In-situ observation of crack initiation and propagation in Ti/Al composite laminates during tensile test”, *J. Alloys Compd.*, vol. 712, pp. 69–75, 2017. doi: 10.1016/j.jallcom.2017.04.063
- [5] D.M. Fronczek *et al.*, “Structural properties of Ti/Al clads manufactured by explosive welding and annealing”, *Mater. Des.*, vol. 91, pp. 80–89, 2016. doi: 10.1016/j.matdes.2015.11.087
- [6] H. Xia *et al.*, “Microstructure and mechanical properties of Ti/Al explosive cladding”, *Mater. Des.*, vol. 56, pp. 1014–1019, 2014. doi: 10.1016/j.matdes.2013.12.012
- [7] I.A. Bataev *et al.*, “Structural and mechanical properties of metallic-intermetallic laminate composites produced by explosive welding and annealing”, *Mater. Des.*, vol. 35, pp. 225–234, 2012. doi: 10.1016/j.matdes.2011.09.030
- [8] L.M. Gurevich *et al.*, “Properties of intermetallic interlayers in layered titanium-aluminum composites”, *Izvestia VolgGTU*, vol. 3, no. 11, pp. 35–40, 2009.
- [9] J. Peng *et al.*, “On the interface and mechanical property of Ti/Al-6%Cu-0.5%Mg-0.4%Ag bimetal composite produced by cold-roll bonding and subsequent annealing treatment”, *Mater. Lett.*, vol. 74, pp. 89–92, 2012. doi: 10.1016/j.matlet.2012.01.052
- [10] D. Yang *et al.*, “Ultrafine equiaxed-grain Ti/Al composite produced by accumulative roll bonding”, *Scripta Mater.*, vol. 62, no. 5, pp. 321–324, 2010. doi: 10.1016/j.scriptamat.2009.11.036
- [11] M. Ma *et al.*, “Microstructure and mechanical properties of Al/Ti/Al laminated composites prepared by roll bonding”, *Mater. Sci. Eng., A*, vol. 636, pp. 301–310, 2015. doi: 10.1016/j.msea.2015.03.086
- [12] M. Ma *et al.*, “Microstructure and mechanical properties of Ti/Al/Ti laminated composites prepared by hot rolling”, *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 26, no. 7, pp. 3569–3578, 2017. doi: 10.1007/s11665-017-2769-5
- [13] S.K. Thakur *et al.*, “Microwave synthesis and characterization of metastable (Al/Ti) and hybrid (Al/Ti + SiC) composites”, *Mater. Sci. Eng., A*, vol. 452–453, pp. 61–69, 2007. doi: 10.1016/j.msea.2006.10.156
- [14] A. Miriyev *et al.*, “Interface evolution and shear strength of Al/Ti bi-metals processed by a spark plasma sintering (SPS) apparatus”, *J. Alloys Compd.*, vol. 678, pp. 329–336, 2016. doi: 10.1016/j.jallcom.2016.03.137
- [15] Y. Sun *et al.*, “Fabrication of multilayered Ti–Al intermetallics by spark plasma sintering”, *J. Alloys Compd.*, vol. 585, pp. 734–740, 2014. doi: 10.1016/j.jallcom.2013.09.215
- [16] X.Y. Nie *et al.*, “An investigation on bonding mechanism and mechanical properties of Al/Ti compound materials prepared by insert moulding”, *Mater. Des.*, vol. 63, pp. 142–150, 2014. doi: 10.1016/j.matdes.2014.05.050
- [17] O.S. Savelyeva *et al.*, “Features of intermetallic layers formation, according to different modes of titanium and aluminum smelting in an air media”, *Sovremennyye Problemy Fizicheskogo Materialovedeniya*, vol. 23, pp. 175–180, 2014.
- [18] R. Khoshhal *et al.*, “Formation and growth of titanium aluminide layer at the surface of titanium sheets immersed in molten aluminum”, *IJMSE*, vol. 7, no. 1, pp. 24–31, 2010.
- [19] E.G. Byba and P.I. Loboda, “The structure and properties formation of titanium-matrix composite depending on the method of sintering”, *Science & Treatment of Metals*, no. 4, pp. 37–42, 2014.
- [20] U. Zwicker, *Titanium and its Alloys*. Moscow, USSR: Metallurgiya, 1979.
- [21] G.V. Samsonov, *Handbook of the Physicochemical Properties of the Elements*. Washington: Plenum Press, 1968.
- [22] N. Takata *et al.*, “Compressive properties of porous Ti–Al alloys fabricated by reaction synthesis using a space holder powder”, *Mater. Sci. Eng., A*, vol. 697, pp. 66–70, 2017. doi: 10.1016/j.msea.2017.05.015
- [23] M. Sujata *et al.*, “Microstructural features of TiAl₃ base compounds formed by reaction synthesis”, *ISIJ Int.*, vol. 36, no. 3, pp. 255–262, 1996. doi: 10.2355/isijinternational.36.255
- [24] L. Xu *et al.*, “Growth of intermetallic layer in multi-laminated Ti/Al diffusion couples”, *Mater. Sci. Eng., A*, vol. 435, pp. 638–647, 2006. doi: 10.1016/j.msea.2006.07.077
- [25] M. Sujata *et al.*, “On kinetics of TiAl₃ formation during reaction synthesis from solid Ti and liquid Al”, *J. Mater. Sci. Lett.*, vol. 20, no. 24, pp. 2207–2209, 2001. doi: 10.1023/A:1017985017778.

Я.А. Смирнова, Е.В. Солодкий, И.М. Гурия, П.И. Лобода

КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ Ti-TiB С ЖИДКИМ АЛЮМИНИЕМ

Проблематика. Титан, алюминий и их сплавы широко используются для деталей автомобильной, аэрокосмической и химической индустрии благодаря низкой плотности, высокой удельной прочности и коррозионной стойкости. Более того, композиционные материалы системы Al-Ti являются чрезвычайно привлекательными и перспективными. Однако технологический процесс получения титан-алюминиевых композиционных материалов, который заключается в твердофазном взаимодействии, обычно сложный. Более простые и эффективные жидкофазные методы, которые заключаются в формировании титанового каркаса и его последующей пропитке расплавом алюминия, не распространены и малоразвиты. Несмотря на достижения металлургического соединения между титаном и алюминием, при изготовлении композитов интерфейс является несовершенным, что негативно отражается на их функциональных свойствах. Титан-матричные композиты (ТМК), которые являются достаточно новым классом материалов, представляют собой матрицу из титанового сплава, армированную керамическими волокнами, и

призваны кардинально повысить физико-механические свойства изделий. Именно поэтому в работе предлагается изучить взаимодействие ТМК (Ti-TiB) с расплавом алюминия и получить уникальную армированную границу раздела при взаимодействии титан-алюминий.

Цель исследования. Изучение кинетики взаимодействия композита Ti-TiB и жидкого алюминия для получения нового композиционного материала (Ti-TiB)-Al с повышенными физико-механическими свойствами.

Методика реализации. Погружение и выдержка подготовленных пластин титана, армированного боридом титана, в расплаве алюминия с последующим охлаждением на воздухе. Исследование микроструктуры и фазового состава зоны взаимодействия. Определение микротвердости структурных составляющих.

Результаты исследования. Изображение микроструктуры и микрорентгеноспектральный анализ в точках на границе взаимодействия композита и расплава показали наличие трех зон: титана, армированного волокнами борида титана, переходного интерметаллидного слоя и алюминия, армированного включениями. Установлено, что увеличение времени выдержки композита в расплаве способствует переходу волокон борида титана в расплав, тем самым увеличивая толщину равномерно армированного слоя алюминия. Наличие в алюминии волокон борида титана и включений интерметаллидов значительно повышает его микротвердость.

Выводы. Впервые установлено, что при выдержке композита Ti-TiB в расплаве алюминия между ними происходит взаимодействие с образованием переходного интерметаллидного слоя и зоны алюминия, армированного включениями. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности получения металлокерамических композиционных материалов с повышенными физико-механическими характеристиками.

Ключевые слова: титан; алюминий; борид титана; композиционный материал.

Y.O. Smirnova, I.V. Solodkyi, I.M. Guriya, P.I. Loboda

KINETICS OF TRANSITION LAYER FORMATION DURING INTERACTION OF Ti-TiB WITH LIQUID ALUMINUM

Background. Titanium, aluminum and their alloys are low density, high specific strength and corrosion resistance materials. They are widely used for parts in the automotive, aerospace and chemical industry due to their properties. Moreover, Al-Ti composite materials are extremely attractive and perspective. However, the technological process of titanium-aluminum composite materials obtaining, which is a solid-phase interaction, is usually complex. More simple and effective liquid-phase methods are not widespread and poorly developed. Despite the achievement of the metallurgical bonding between titanium and aluminum the interface between them in composite materials isn't perfect, that's why it decreases their functional properties. Titanium matrix composites as a relatively new class of materials are the titanium alloy matrix reinforced with ceramic fibers (for example Ti-TiB). Moreover, these composites are promising to increase the physical and mechanical properties of products. That's why we propose to study the interaction of Ti-TiB with the aluminum melt and obtain a unique reinforced interface between them.

Objective. The aim of the paper is exploring the kinetics of Ti-TiB and liquid aluminum interaction for obtaining new composite material (Ti-TiB)-Al with the increased physical and mechanical properties.

Methods. Immersion and holding of prepared plates of Ti-TiB in aluminum melt, followed by air cooling. Investigation of the microstructure and phase composition of the interaction zone. Determination of microhardness of formed zones.

Results. The image of microstructure and microrentgenospectral analysis at the points on the interface between composite and the melt showed the presence of three zones: titanium reinforced with titanium boride fibers, transition intermetallic layer and aluminum reinforced with inclusions. It was primarily established that holding of composite in melt promotes interaction of TiB fibers and aluminum. Increasing the holding time of composite in the melt causes the thickness of the uniformly reinforced aluminum layer. Titanium boride fibers and intermetallic compounds in aluminum significantly increase the aluminum microhardness.

Conclusions. It was primarily found that during holding of Ti-TiB composite in aluminum melt, there is an interaction with the following formation of transition intermetallic layer and aluminum reinforced zone. It can be clearly seen that the obtaining of metal-ceramic composite materials with the increased physical and mechanical characteristics is definitely a perspective.

Keywords: titanium; aluminum; titanium boride; composite material.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
08 лютого 2019 року

Прийнята до публікації
25 квітня 2019 року