

ЛОБОДА П.І., ГУРІЯ І.М., СОЛОДКИЙ Є.В., СМІРНОВА Я.О.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ АЛЮМІНІЮ З ТИТАНОВИМ КОМПОЗИТОМ

E-mail: decan@iff.kpi.ua; gurya@ukr.net; yana.luschay@gmail.com

АНОТАЦІЯ. У роботі розглянуто загальні методики рідкофазного виготовлення алюмінієвих композитів. Досліджено взаємодію титану, армованого боридом титану, та розплаву алюмінію, під час якої спостерігався рівномірний перехід волокон бориду титану з пластини титанового композиту в розплав. Дане дослідження є підставою для подальшого, більш глибокого, вивчення взаємодії титанових композитів з розплавом алюмінію.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: борид титану, алюміній, титан, композиційний матеріал

Найпоширенішими металами, які використовують як матриці композиційних матеріалів, є титан та алюміній. Армування їх боридами титану дозволяє отримувати композити з високими фізико-механічними властивостями для аерокосмічної, автомобільної, оборонної та інших галузей промисловості [1].

Алюміній, як матриця для композиційних матеріалів, має унікальну комбінацію низького електричного опору, високих механічних властивостей та корозійної стійкості [1].

Титан, у свою чергу, має низьку густину, невисокий коефіцієнт теплового розширення, відносно малі тепло- та електропровідність, високу міцність та питому міцність, є немагнітним та нехолодноламким. Це один із найбільш корозійностійких металів, що пов'язано з утворенням на його поверхні пасивної оксидної плівки [2].

Наявність боридів титану як армувальної складової в алюмінієвій металевій матриці підвищує межу міцності на розрив та мікротвердість композиту і зменшує коефіцієнт тертя [3-5].

Однак, в алюмінієвих сплавах модуль пружності нижчий за титан та сталі, що не завжди може забезпечити необхідну жорсткість конструкції одночасно з їх малою вагою. Отже, створення композиційного матеріалу з високими механічними властивостями та малою питомою вагою є актуальним.

Відомо два основних методи виготовлення композиційних матеріалів:

in situ, коли армувальний елемент утворюється у ході реакції у розплаві матричного металу;

ex situ, коли армувальний елемент вводиться у вигляді частинок або волокон у розплав матричного металу.

Обидва методи успішно використовують для синтезу композитів на основі алюмінію, з армувальною складовою у вигляді твердих включень бориду титану. Проте, у методики *ex situ* є такий недолік як коагуляція армувальної складової під час введення та розподілення по об'єму розплаву, що в свою чергу спричиняє незручності під час виготовлення композиту.

Відомі дослідження [6-7] з використанням методики *in situ*, у яких композиційні матеріали синтезувалися шляхом екзотермічної реакції галогенідних солей KBF_4 та K_2TiF_6 чистотою 99% з розплавленим алюмінієм. У роботі [8] наведено отримання композиту шляхом введення лігатур Al-10%Ti та Al-3%B до алюмінієвого розплаву ($\approx 97\%$ Al).

У всіх вище наведених дослідженнях було досягнуто рівномірне розподілення бориду титану по об'єму алюмінієвої матриці. Крім того, було підвищено значення мікротвердості (за Вікерсом), межі міцності на розтяг та пластичності.

Використання методів *ex situ* для синтезу композитів з алюмінієвою матрицею та частинками бориду титану, незважаючи на відмінності у запропонованих технологіях, також привело до позитивних результатів [3-4, 9]. Проте, для запобігання коагуляції частинок бориду титану, використовувалося постійне перемішування рідкого алюмінію.

На сьогодні взаємодія композитів на основі титану, армованих боридом титану з алюмінієм, не вивчена, хоча згідно квазібінарного розрізу алюміній – бориди титану та діаграми стану титан-алюміній титанова матриця основного композиту має розчинятися в контакті з рідким

металом, а волокна бориду титану – переходить в розплав, армуючи, тим самим, алюмінієву матрицю новоствореного композиту.

Відповідно, проблему коагуляції армувальної складової під час її введення та розподілу по об'єму розплаву можна вирішити шляхом взаємодії титанового композиту з розплавом алюмінію.

Для вивчення процесу взаємодії алюмінієвого розплаву з титаном, армованим волокнами бориду титану, було проведено дослідження, у ході якого титановий композит занурювали та витримували у розплаві алюмінію.

Дослідний зразок, що занурювався, являв собою титанову пластину, розмірами 20x20x5 мм, армовану волокнами бориду титану діаметром 1...2 мкм та довжиною 100...500 мкм. Пластина була отримана методом електронно-променевого переплавлення з наступною прокаткою. Після прокатування поверхня зразка була відшліфована з метою видалення оксидів та інших домішок.

Під час експерименту алюміній нагрівали в електропечі до температури 800 °С, після чого пластину композиту занурювали та витримували у рідкому металі. Час витримки зразків – 15, 30 та 60 хв.

Методом металографічного аналізу було виявлено дві нові зони – вільна від волокон, суцільна фаза сірого кольору та зона однорідно розподілених волокон в розплаві алюмінію. Згідно рентгеноструктурного аналізу, суцільна фаза сірого кольору являє собою титан-алюмінієві інтерметаліди, а волокна в розплаві алюмінію – моноборид титану (рис. 1).

Окрім того, встановлено, що під час взаємодії титанової пластини та розплавленого алюмінію між ними утворюється перехідна зона. Час витримки пластини у розплаві практично не впливає на перехідну зону, але від нього залежить товщина шару алюмінію, армованого рівномірно розподіленими волокнами бориду титану (рис. 2).

ВИСНОВКИ

У результаті роботи спостерігався перехід армувальної складової титанового композиту в розплав алюмінію та рівномірне розташування даних волокон по об'єму закристалізованої алюмінієвої частини, що в свою чергу слугує вагомим підґрунтям для проведення подальших досліджень взаємодії композитів на основі титану з розплавом алюмінію.

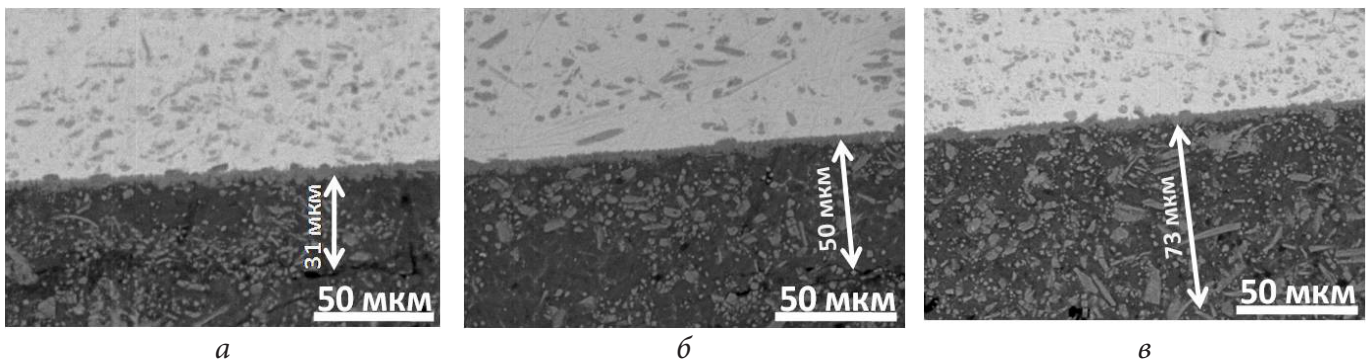


Рис. 1. Мікроструктура титану, армованого волокнами монобориду титану, після взаємодії з розплавом алюмінію: а – протягом 15 хв; б – протягом 30 хв; в – протягом 60 хв

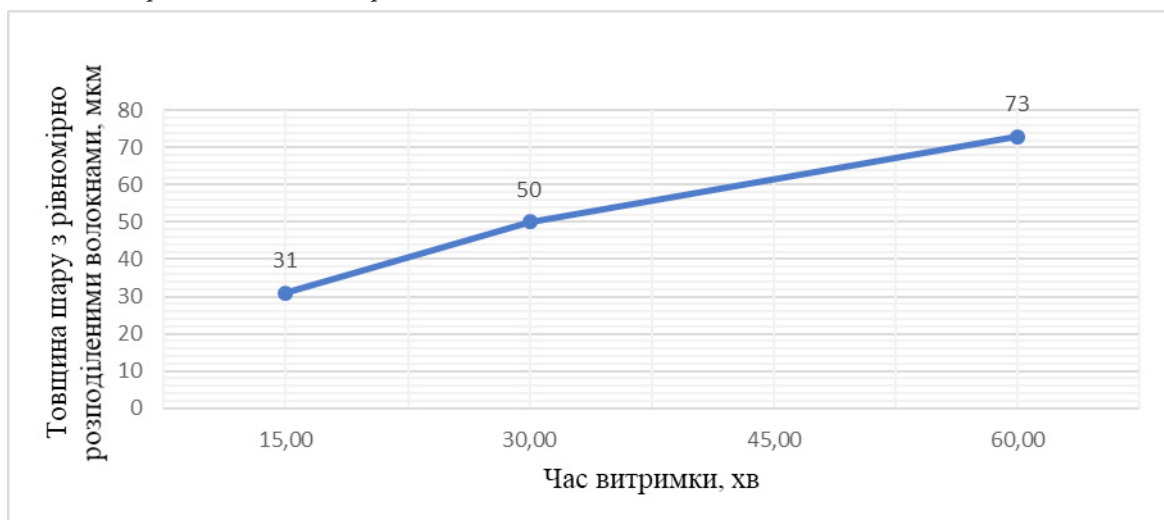


Рис. 2. Графік залежності товщини шару алюмінію, армованого рівномірно розподіленими волокнами бориду титану, від часу витримки зразка у розплаві

ЛІТЕРАТУРА:

1. Aluminium-Titanium Diboride (Al-TiB₂) Metal Matrix Composites: Challenges and Opportunities. / S. Suresh, N. Shenbag, V. Moorthi // *Procedia Engineering*, 38. – 2012. – pp. 89...97.
2. Композиционные материалы: Справочник / Под ред. Д.М. Карпиноса.– Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.
3. In situ processing of Al-TiB₂ composite by the stir-casting technique. / K.L. Tee, L. Lu, M.O. Lai // *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90. – 1999. – pp. 513...519.
4. Synthesis of AL-TIB₂ nanocomposite using high frequency induction melting. / A.M. Nabawy, Z. Zhang, Z.X.G. Chen // *Materials Science & Technology Conference and Exhibition*. – 2013. – pp. 1284...1293.
5. Design of Experiments Analysis of Friction Behavior of Al-TiB₂ Composite. / S. Poria, G. Sutradhar, P. Sahoo // *Materials Today: Proceedings*, 4. – 2017. – pp. 2956...2964.
6. TiB₂ reinforced aluminum based in situ composites fabricated by stir casting. / Fei Chena, Zongning Chenb, Feng Maoa, Tongmin Wanga, Zhiqiang Cao // *Materials Science and Engineering*, 625. – 2015. – pp. 357...368.
7. Deformation behaviour and failure mechanisms of Al-TiB₂ in situ composites. / S. Madhavan, S. Balasivanandha Prabu // *Materials Science and Technology*, 29. – 2013. – pp. 268...272.
8. Development of Al 6063-TiB₂ in situ composites. / C.S. Ramesh, Abrar Ahamed, B.H. Channabasappa, R. Keshavamurthy // *Materials & Design*, 34. – 2010.– pp. 2230...2236.
9. Effect of B₄C, TiB₂ and ZrSiO₄ ceramic particles on mechanical properties of aluminium matrix composites: Experimental investigation and predictive modelling. / K. Shirvanimoghaddam, H. Khayyam, H. Abdizadeh, M. Karbalaei Akbari, A.H. Pakseresht, F. Abdi, A. Abbasi, M. Naebe // *Ceramics International*, 42.– 2016. – pp. 6206...6220.