

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

на тему “Створення нових конструкційних армованих матеріалів на основі титану та його сплавів з підвищеними фізико – механічними властивостями”,

здобувача наукового ступеня доктора філософії

Ремізова Дмитра Олексійовича

з галузі знань 13 Механічна інженерія

за спеціальністю 132 Матеріалознавство

Фаховий семінар проведений на кафедрі ВТМ та ПМ

«3» вересня 2021 р, протокол № 4.

1. Актуальність теми: Титанові сплави є одним з основних конструкційних матеріалів, який використовується в літако, судно, ракетобудуванні, медицині та багатьох інших сферах. Чистий титан характеризується малою міцністю ($\sigma = 250\text{--}450$ МПа), та високою пластичністю ($\delta=50\text{--}65\%$, $\psi=70\text{--}90\%$), володіє стійкістю в багатьох агресивних середовищах, та має невисоку щільність ($\rho=4.5\text{г/см}^3$).

Зміцнення титану досягається шляхом легування. В залежності від впливу на температуру поліморфного перетворення титану $\beta \leftrightarrow \alpha$, розрізняють:

- α -стабілізатори, які розширюють область існування α -фази. Головним α -стабілізатором титанових сплавів є алюміній, оскільки він відносно добре розчинний в титані та покращує його характеристики міцності і жароміцні властивості.
- стабілізатори β -фази, а саме V, Mo, Cr, Fe, W, Nb, Mn, Ni, водень і кремній, які знижують температуру поліморфного перетворення.
- до третьої групи легуючих елементів відносяться Sn, Zr, Hf, Ge, B, які слабо впливають на температуру фазового перетворення, але суттєво збільшують механічні властивості титанових сплавів.

Найбільшу увагу дослідженню процесу легування титану приділяли вчені: С.Г. Глазунов, О.М. Івасишин, Г.В. Курдюмов, Д.Г. Саввакін, В.І. Трифілов, В.І. Мазур.

Підвищення фізико – механічних властивостей шляхом легування не дозволяє виготовляти сплави титану без термообробки. В процесі зварювання відбувається перерозподіл хімічних елементів в зоні термічного впливу, що призводить до локальних змін механічних властивостей. Виготовлення титанових деталей складної форми, як правило застосовується зварюванням. Під час зварювання титану легованого добавками інших елементів, α чи β

стабілізаторами, призводить до зміни концентрації легуючих добавок, як в зоні закристалізованого із розплаву шва так в зоні термічного впливу [4].

Тому актуальним є напрямок зміцнення армування титану волокнами із тугоплавких сполук, силіцидами, карбідами, карбосиліцидами, борідами, тощо.

Виходячи з будови діаграм стану можна передбачити, що армовані тугоплавкими силіцидами, карбідами, борідами титанові сплави не будуть втрачати хімічну однорідність під час зварювання, але такі роботи практично відсутні. Враховуючи найменшу розчинність бору в титані, найбільш доцільним є зміцнення титану волокнами із бориду титану. Але вплив кінетики процесу кристалізації на кількість і розміри волокон та на фізико-механічні властивості титанового композиту на сьогодні вивчені не достатньо.

Тому, метою роботи є встановлення впливу кінетичних параметрів процесу спрямованої кристалізації із розплаву на формування мікроструктури та властивостей композиційних матеріалів Ti-TiB.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до відомчої та конкурсної тематики НАН України, а саме:

1. «Розробка технології виготовлення композиційної керамічної, металокерамічної та металополімерокерамічної броні із надміцних та надтвердих армованих керамічних матеріалів» (державний реєстраційний номер 0115U002328);

2. ДЗ/64-2018 «Розроблення технології виготовлення порошків з титану та сплавів для 3D друку». керівник: к.т.н., доц. Богомол Ю.І. (12.2018-12.2019).

3. Наукова новизна

У дисертації вперше в умовах зонної плавки вирощені кристали композиційного металокерамічного матеріалу, що представляє собою матрицю із технічно чистого титану та з регулярно розташованими по об'єму стрижневими включеннями із монобориду титану, що формуються в процесі контрольованої спрямованої кристалізації розплаву евтектичного сплаву Ti-B (94,7 % Ti і 5,3 % TiB₂).

– Встановлено, що в процесі спрямованої кристалізації злитку діаметром 100 мм з підігрівом поверхні розплаву відбуваються процеси коалесценції включень боридної фази, що призводить до збільшення поперечних розмірів і зменшення кількості включень боридної фази по площині поперечного перетину кристалу в 3-5 разів. Причиною, як процесу коалесценції так і формування полосатої неоднорідної мікроструктури є зміна знаку температурного градієнту в об'ємі розплаву, а саме різким збільшення температури по мірі наближення до поверхні розплаву та збільшенням часу кристалізації розплаву.

– Встановлено що під час кристалізації розплаву в умовах зонної плавки неоднорідність температурного поля в розплаві та на фронті кристалізації зливу призводить до зменшення кількості включень із бориду титану майже на порядок в центральній частині зливу в порівнянні із периферійною.

– На фронті росту кристалу температурний градієнт в периферійній частині значно більший ніж в центральній, що призводить до формування меншої кількості включень із бориду титану в центральній частині зливку ніж у периферійній.

– Укрупнення призводить до зменшення кількості включень із бориду титану майже на порядок в центральній частині зливку в порівнянні з периферійно. Внаслідок неоднорідності температурного поля в розплаві та на фронті кристалізації зливку.

– За результатами досліджень кінетики процесу в умовах зонної плавки, встановлено вплив швидкості кристалізації на розмір та кількість армуючи волокон бориду титану. Доведено що збільшення температурного градієнту в кристалі та на фронті кристалізації призводить до збільшення кількості включень і зменшення розмір зерен на порядок.

– Доведено, що збільшення температурного градієнту в кристалі та на фронті кристалізації в два рази призводить до зменшення діаметру та кількості включень із бориду титану на порядок.

– На основі отриманих даних щодо впливу охолодження та температурного градієнту в кристалі та на фронті кристалу зроблено висновок про можливість отримання армованого композиційного матеріалу $Ti - TiB$ з найдрібнішими розмірами волокон із дибориду титану під час отримання порошків шляхом диспергування розплаву.

– Досліджено, вперше, вплив кількості та розміру стрижневих включень бориду титану на механічні властивості металокерамічного композиту $Ti - TiB$, доведено, що зменшення діаметру включень дозволяє підвищити міцність в межах 100 МПа при цьому пластичність композиту збільшується 3–5%. Доведено, що включення складаються із двох та більше зерен, когерентно зв'язаних в повздовжньому напрямку, що призводить до руйнування включення із бориду титану в повздовжньому напрямку під час розтягування композиту в цілому.

– Металографічним та рентгеноструктурним аналізом, вперше, встановлено, що під час прокатування довга вісь стрижневого включення орієнтується вздовж прокатування, і формується композит переважно в одному напрямку. Стрижневі включення розміром менше 1 мкм зберігають суцільність незалежно від ступеня деформації, тоді як більші за розміром – руйнуються. На основі даних фізичного експерименту встановлено вплив розмірів та кількості включень із дибориду титану на величину зміцнення композиту.

– На основі даних експериментальних досліджень визначено механічну міцність армованого композиційного матеріалу, що складається із титанової матриці армованої волокнами із бориду титану. Доведено, що армування волокнами із бориду титану дозволяє підвищити в два і більше разів міцність титану марки VT1-0, величина якої після прокатування має найвище значення 900 МПа.

– Встановлено вплив термообробки на властивості металокерамічного композиту титан – борид титану. Показано, що зі збільшенням швидкості охолодження зменшується величина пластичної деформації композиційного матеріалу. Найбільші значення пластичності 13 % досягається у випадку охолодження у маслі з наступним відпалом при температурі 550°C.

– Встановлено, що термічна обробка суттєво не змінює величини мікротвердості композиційного матеріалу і складає 2,7–4,7 ГПа в залежності від величини навантаження. Підвищення твердості по мірі зростання навантаження обумовлено шаруватим розташуванням більш твердих волокон із бориду титану кількість яких, спочатку зростає, а потім залишається незмінним.

– Таким чином причиною більших на порядок за розмірами волокон та більша в порівнянні з керамічним сплавом розорієнтація волокон боридних фаз пов'язана з природою матричної фази і перш за все теплопровідністю, що не дозволяє реалізувати спрямовану кристалізацію розплаву евтектичного сплаву Ti – TiB навіть у випадку найвищих швидкостей охолодження 10^5 – 10^6 . Саме тому волокнисту мікроструктуру металокерамічних композитів системи Ti – TiB можна формувати переважно під час малих об'ємів розплаву реалізуючи максимальні швидкості охолодження, що забезпечує формування волокон мікронного розміру по діаметру.

– У зливках діаметром 100мм встановлено неоднорідність мікроструктури та досліджено вплив кінетичних параметрів на кількість і розмір волокон, та механічні характеристики сплаву Ti – TiB. Також показано, що армування волокнами підвищує міцність з термомодеформаційною обробки від 3–5 до 18%, що дозволяє характеризувати матеріал, як конструкційний.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Розроблено нові способи керування структурою та фізико–механічними властивостями спрямовано армованого матеріалу Ti–TiB із заздалегідь заданими фізико – механічними властивостями та геометричними розмірами, структурною досконалістю та промислово–прийнятні технології виготовлення:

- конструкційних елементів двигунів космічних літальних апаратів;
- ножів для різання паперу і гофрокартону (ТОВ «Понінківська КПФ») з металокерамічного композиту на основі титану.
- металокерамічні матеріали, одержані в результаті виконання роботи, можуть широко використовуватися в якості конструкційних, триботехнічних, інструментальних та матеріалів спеціального призначення, що здатні працювати без помітної деградації структури та властивостей аж до 1500°C.

5. Використання результатів роботи

Використання даного матеріалу можливе на примислових підприємствах таких як деревообробне, використання, як конструкційний матеріал в медицині, медичинський інструмент, у харчовій промисловості(ножі із самозаточкою) та інше.

6. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі “Створення нових конструкційних армованих матеріалів на основі титану та його сплавів з підвищеними фізико – механічними властивостями”. Автор брав участь у всіх етапах дослідження: формулюванні мети та завдання досліджень, плануванні та проведенні експериментів, аналізі та узагальненні отриманих результатів. Автор приймав активну участь в створенні статей та патентів на основі отриманих результатів разом зі співавторами.

Постановка задачі дослідження, обговорення отриманих результатів проведені з науковим керівником член-кореспондентом НАН України, доктором технічних наук, професором Лободою П.І.

Безпосередньо автором було виготовлено всі досліджувані зразки, проведено механічні випробування (дослідження мікротвердості зразків та модуля пружності зразків), мікроструктурний та рентгенофазовий аналіз.

Дисертаційна робота виконана ВТМ та ПМ, КПІ ім. Ігоря Сікорського ІМЗ ім. С. О. Патона

науковий керівник: Лобода Петро Іванович чл.-кор. НАН України, академік НАН України д.т.н., проф.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Ремізова Д.О.

є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 6 наукових праць, у тому числі 4 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 статей у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу, фахових виданнях України категорії «А», або закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus) 1 патентів України, 1 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Статті у фахових виданнях:

1. P. I. Loboda, T. O. Soloviova, Yu. I. Bogomol, **D. O. Remizov** & O. I. Bilyi// Effect of the crystallization kinetic parameters on the structure and properties of a eutectic alloy of the LaB₆-TiB₂ system. Journal of Superhard Materials volume 37, pages: 394-401(2015). (Scopus) (іноземне видання) ISSN ONLINE: 1934-9408. Особистий внесок здобувача: отримання порошкової суміші, пресування, підготовка зразків для досліджень, аналіз отриманих даних, підготовка до опублікування.

2. **Д.О. Ремізов**, Ю.І. Богомол, П.І. Лобода. Вплив швидкості кристалізації на мікроструктуру та властивості сплаву Ti-TiB//Современная электротехнология. 2020. – № 1. – С. 46-51. ISSN: 0233-7681. Особистий внесок здобувача: отримання порошкової суміші, пресування, підготовка зразків для досліджень, аналіз отриманих даних, підготовка та опублікування статті.

3. **Д.О. Ремізов**, П.І. Лобода, Ю.І. Богомол. Вплив структурно-геометричних характеристик фазових складових на механічні властивості закристалізованого із розплаву евтектичного складу Ti - TiB. // Проблеми тертя та зношування, 2020, С. 68-77 ISSN: 0370-2197. Особистий внесок здобувача: отримання порошкової суміші, пресування, підготовка зразків для досліджень, аналіз отриманих даних, підготовка та опублікування статті.

4. П.І. Лобода, Д.О. Ремізов, С.Г. Григоренко, В.О. Березос, А.Ю. Северін. Однорідність мікроструктури сплаву Ti–TiB, отриманого в умовах електронно–променевого переплаву// Современная электрометаллургия. № 3, 2019(Вересень)Pages 55–61. ISSN: 0233–7681. Особистий внесок здобувача: отримання порошкової суміші, пресування, підготовка зразків для досліджень, аналіз отриманих даних, підготовка та опублікування статті.

Патенти:

1. Заявка на видачу патенту на винахід № u 2019 03433. СПОСІБ ОТРИМАННЯ АРМОВАНОГО МЕТАЛОКЕРАМІЧНОГО КОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ ТИТАНУ. Ремізов Дмитро Олексійович, Лобода Петро Іванович, Богомол Юрій Іванович. 27.08.2019. Особистий внесок здобувача: отримання порошкової суміші, пресування, підготовка зразків для досліджень, аналіз отриманих даних, підготовка та опублікування патенту.

Тези:

Ремізов Д. О., Лобода П. І., Солодкий Є. В., Богомол Ю. І. Армований металокерамічний композит на основі титану отриманий методом електронно – променевої плавки / Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 7», Київ, Україна, 30 листопада – 2 грудня 2017р. С. 51-53. Особистий внесок здобувача: отримання порошкової суміші, пресування, підготовка зразків для досліджень механічних властивостей, аналіз отриманих даних, підготовка до опублікування.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Ремізова Дмитра Олексійовича

“ Створення нових конструкційних армованих матеріалів на основі титану та його сплавів з підвищеними фізико – механічними властивостями ”, яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп.9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського зі спеціальності 132 Матеріалознавство.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу “Створення нових конструкційних армованих матеріалів на основі титану та його сплавів з підвищеними фізико – механічними властивостями ”,

подану Ремізов Дмитро Олексійович на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

Рецензенти:

к.т.н., професор, професор
кафедри ВТМ та ПМ

д.т.н., професор, професор
кафедри ВТМ та ПМ



Анатолій СТЕПАНЧУК

Олександра ЮРКОВА

06.09.2021р.