

Вплив Y на структуру і властивості литого інтерметалідного сплаву Ti—36Al

Повідомлення 1. Структура і твердість литих сплавів Ti—36Al—Y

І. Д. Горна, Г. В. Яблокова, В. О. Тіньков, А. В. Котко,
В. С. Голтвяниця, С. К. Голтвяниця, С. О. Фірстов

Досліджено вплив ітрію на структуру, фазовий склад та твердість литого інтерметалідного сплаву Ti—36% (мас.) Al. Показано, що невеликі домішки Y (0,1—0,6% (мас.)) модифікують литу ламельну структуру сплаву. В сплавах із вмістом 0,8—5% (мас.) Y формується доевтектична структура, що складається з фази (γ -TiAl) і евтектики (γ -TiAl + YAl₂). Крім того, в структурі практично всіх легованих сплавів встановлено наявність зерен Y. Відмічається, що визначені фазові та структурні зміни зумовлюють немонотонний характер залежності твердості за Віккерсом литих сплавів Ti—36Al—xY при зростанні концентрації Y від 0,1 до 5% (мас.).

Ключові слова: γ -TiAl сплави, легування, ітрію, структура, фазовий склад, твердість.

Сплави на базі алюмініду титану γ -TiAl є перспективними сучасними жароміцними матеріалами, що розглядаються як потенційні конструкційні матеріали для використання в авіакосмічних апаратах за температур експлуатації 600—800 °С. Обмежують їх практичне застосування низькі технологічність та стійкість до окиснення, мала пластичність [1, 2]. Останні характеристики в значній мірі залежать від хімічного складу та структури сплавів на основі γ -TiAl. Покращення цих показників можливо, в першу чергу, за рахунок використання спеціальних режимів термо-механічної обробки (ТМО). Але дуже висока собівартість процесів ТМО інтерметалідних γ -TiAl сплавів примушує технологів і дослідників вдосконалювати процедуру модифікування технології отримання зливків, шукати нові хімічні склади сплавів на базі алюмінідів титану, які б забезпечували оптимальне співвідношення високотемпературних властивостей і низькотемпературної пластичності. Так зване третє покоління γ -TiAl сплавів є комплексно-легованими сплавами, які, крім “основних” легуючих елементів, таких як Nb, Cr, Mn, Ta, W, Hf, Zr, C, B, Si, включають РЗМ. Серед РЗМ, що використовують не тільки для модифікування структури литих сплавів для покращення низькотемпературних властивостей, а й для підвищення жаростійкості литих γ -TiAl сплавів, перспективними є Y, Gd, Dy [3—11].

Метою даної роботи є вивчення впливу ітрію в широкому концентраційному інтервалі 0,1—5% (тут і далі — масові) на структуру, фазовий склад і твердість модельного литого інтерметалідного сплаву Ti—36Al.

© І. Д. Горна, Г. В. Яблокова, В. О. Тіньков, А. В. Котко, В. С. Голтвяниця,
С. К. Голтвяниця, С. О. Фірстов, 2010

Матеріали та методика експерименту

Зливки сплавів Ti—36Al—xY у вигляді диска $\varnothing 65 \times 12$ мм і масою ~200 г були отримані методом вакуумно-дугового сплавлення шихтових брикетів (титанова губка марки ТГ 110М (ГОСТ 17746-79), алюміній марки А8 (ГОСТ 11070-74), ітрію було введено у вигляді лігатури Ti—5% Y) в лабораторній вакуумно-дуговій печі в мідному циліндричному охолоджуваному водою кристалізаторі в інертному середовищі.

Структуру та фазовий склад сплавів вивчали методами сканівної і трансмісійної електронної мікроскопії (SEM та TEM), рентгенофазового аналізу (РФА), локального рентгеноспектрального аналізу (ЛРСА). Твердість за Віккерсом виміряли на приладі НРQ 250 з навантаженням 300 Н, мікротвердість (ПМТ-3М) — при навантаженні 30 г.

Експеримент та обговорення результатів

Мікроструктура сплаву Ti—36Al в литому стані складається з крупних плоских дендритів γ -фази (темні області на рис. 1, а), що кооперується з ламельною структурою (γ -TiAl + α_2 -Ti₃Al). Згідно з літературними даними, в γ -сплаві еквіатомного складу об'ємна частка α_2 -фази дорівнює ~1% [12].

Додавання Y в кількості 0,1—0,6% приводить до подрібнення литої структури сплаву Ti—36Al (рис. 1, б, в). Подальше зростання концентрації ітрію від 0,8 до 5% визначає майже повну заміну типової для інтерметалідного сплаву Ti—36Al ламельної структури на структуру евтектичного типу, що має складатися, згідно з даними робіт [8, 9], з дендритів фази γ -TiAl та евтектики (γ -TiAl + YAl₂) (рис. 1, з—е). Саме в сплаві Ti—36Al—0,8Y відмічається поява перших порцій евтектики (рис. 1, з). У той час як доля евтектичної складової зростає, кількість областей, які відповідають ламельним колоніям (γ -TiAl + α_2 -Ti₃Al), зменшується із збільшенням концентрації ітрію до 5% (рис. 1, е). Окрім того, мікроструктура усіх сплавів, що містять Y, характеризується наявністю вкраплень дисперсної фази, яка є рівномірно розподіленою в об'ємі

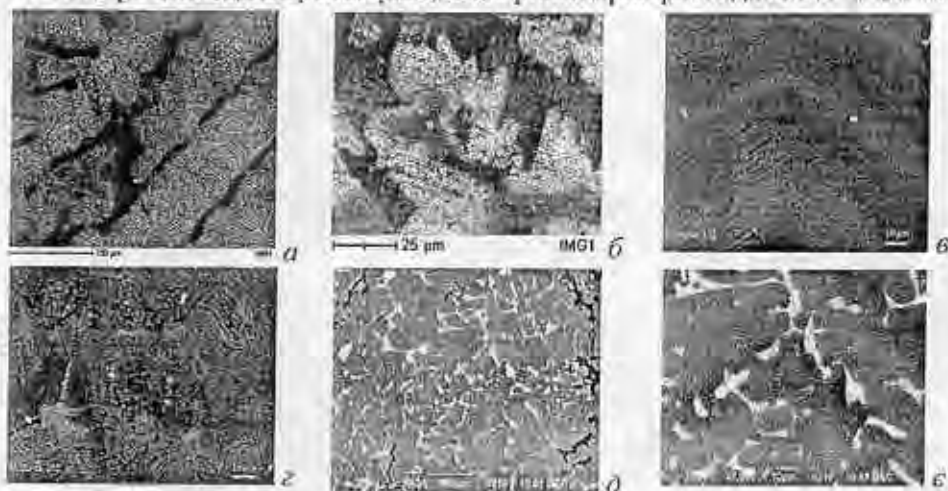


Рис. 1. SEM мікрофотографії литих сплавів Ti—36Al—xY: а — Ti—36Al; б — Ti—36Al—0,1Y; в — Ti—36Al—0,6Y; з — Ti—36Al—0,8Y; д — Ti—36Al—2,5Y; е — Ti—36Al—5Y.

матриці. Із збільшенням вмісту ітрію дисперсні частинки укрупнюються, що дозволило визначити їх хімічний склад. Так, результати ЛРСА сплавів із вмістом Y від 0,6% показали відповідність цієї фази неправильної форми зернам ітрію.

За результатами ЛРСА і рентгенофазового аналізу зразків із вмістом Y 0,1; 0,6; 1 та 5% у сплаві були ідентифіковані фази, хімічні склади яких наведені в табл. 1. В табл. 2 додатково представлено співвідношення вмісту Ti і Al в структурних складових сплавів Ti—36Al—xY (фази γ -TiAl та α_2 -Ti₃Al) за результатами ЛРСА.

В структурі литих сплавів із вмістом Y від 0,6% і більше встановлено наявність, крім алюмінідів титану, алюмінідів ітрію YAl₂, Y₂Al, а також частинок ітрію. Поява зерен Y може бути зумовлена як обмеженою розчинністю ітрію в сплаві Ti—36Al, так і різким спадом кривої ліквідусу в області існування кристалів чистого ітрію на діаграмі стану потрійної системи Ti—Al—Y [8—10]. Пояснення наявності фази Y₂Al у сплаві Ti—36Al—5Y потребує додаткового дослідження. Крім того, слід відмітити, що сплави досліджуються в литому (нерівноважному) стані, тому після відповідного відпалу можлива зміна фазового складу у бік стабільних рівноважних фаз.

У зразках сплавів, що містять 1 і 5% Y, фаза Ti₃Al ідентифікується у дуже малій кількості (сліди). Звідси можна зробити припущення, що збільшення концентрації Y до 5% змінює співвідношення об'ємної частки алюмінідів титану у бік збільшення вмісту фази γ -TiAl (табл. 1).

Дослідження тонкої структури сплавів методом ТЕМ підтвердили результати СЕМ: мікролегування Y приводить до подрібнення ламельної структури сплаву. На ТЕМ мікрофотографіях тонкої структури, наведених

Таблиця 1. Фазовий склад сплавів Ti—36Al—xY за результатами ЛРСА і РФА

Сплав	Фазовий склад
Ti—36Al—0,1Y	TiAl, Ti ₃ Al
Ti—36Al—0,6Y	TiAl, Ti ₃ Al, Y
Ti—36Al—0,8Y	TiAl, Ti ₃ Al, Y
Ti—36Al—1Y	TiAl, Ti ₃ Al (сліди), Y
Ti—36Al—5Y	TiAl, Ti ₃ Al (сліди), YAl ₂ , Y ₂ Al (сліди), Y (сліди)

Таблиця 2. Співвідношення вмісту Ti і Al в структурних складових сплавів Ti—36Al—xY за результатами ЛРСА

Вміст Y, % (мас.)	Вміст елемента, % (мас.)			
	γ -TiAl		γ -TiAl + α_2 -Ti ₃ Al	
	Ti	Al	Ti	Al
0	63,83	36,17	70,12	29,88
0,1	63,02	36,98	67,09	32,91
0,6	62,23	37,77	67,19	32,81
1	64,19	35,81	65,77	34,23
5	63,99	36,01	54,77	45,23

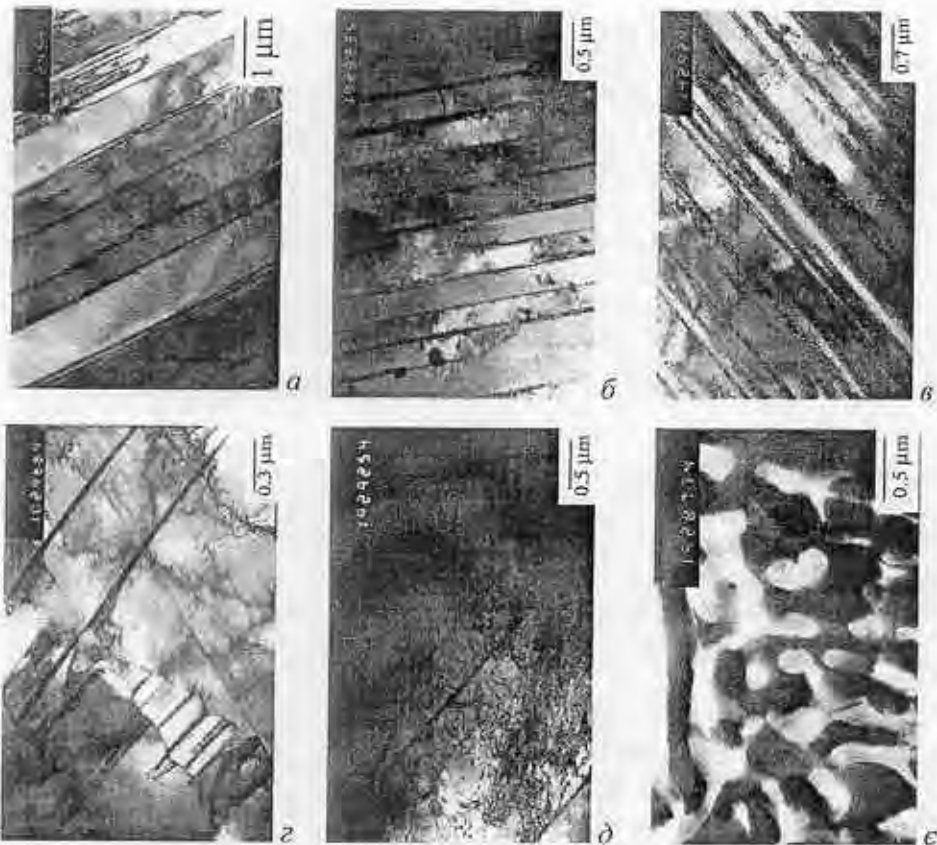


Рис. 2. ТЕМ мікрофотографії литих сплавів Ti—36Al—xY: а — Ti—36Al; б — Ti—36Al—0,1Y; в — Ti—36Al—0,4Y; г — Ti—36Al—0,8Y; д, е — Ti—36Al—5Y.

на рис. 2, а—г, видно, що із збільшенням вмісту Y відбувається не тільки потоншення ламелей сплавів Ti—36Al—xY, але і зменшення відстані між ними. Так, для вихідного сплаву Ti—36Al міжпластинчатая відстань складає ~0,7 мкм, для Ti—36Al—0,1Y — ~0,3 мкм, а вже для сплаву з 0,4% Y вона зменшується майже до 0,25 мкм. Зображення на рис. 2, д, е відповідають фрагментам евтектичної структури сплаву Ti—36Al—5Y. Евтектику складають колонії фаз γ -TiAl і YAl_3 .

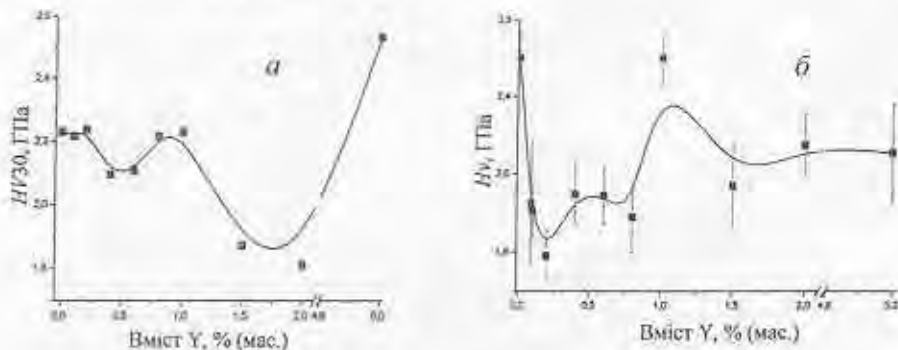


Рис. 3. Вплив Y на твердість (а) і мікротвердість (б) литого сплаву Ti—36Al—xY.

Аналіз залежності твердості за Віккерсом сплавів $Ti-36Al-xY$ від вмісту Y показав її немонотонний характер (рис. 3, *a*). В інтервалі концентрацій ітрію 0,1—0,8% відмічається невелике “пом’якшення” сплаву у порівнянні з вихідним складом. При вмісті 1,0—2% Y спостерігається доволі різке друге падіння твердості приблизно до 1,9 ГПа. Подальше збільшення вмісту Y до 5% визначає зростання твердості до 2,5 ГПа. У той же час мікротвердість матриці литого сплаву збільшується із додаванням ітрію від 0,6 до 5% (рис. 3, *b*). Такий складний характер залежності твердості можна пояснити зміною фазового складу сплаву — появою зерен ітрію і алюмінідів ітрію з низькою твердістю, а також зменшенням об’ємної долі α_2-Ti_3Al із збільшенням вмісту Y до 5%.

Висновки

Досліджено ефект легування Y в інтервалі концентрації 0,1—5% (мас.) на структуру, фазовий склад і твердість литого сплаву $Ti-36Al$. Показано, що мікролегування Y у кількості 0,1—0,6% приводить лише до подрібнення литої ламельної структури сплаву. Збільшення вмісту Y від 0,8 до 5% визначає утворення в сплаві евтектичної структури, що складається з фази $\gamma-TiAl$ и евтектики ($\gamma-TiAl + YAl_2$). Крім того, в структурі сплавів з 0,1—1% Y було ідентифіковано зерна Y , що свідчить про обмежену розчинність ітрію в сплаві $\gamma-TiAl$. Встановлені зміни фазового складу сплавів $Ti-36Al-xY$ призводять до складного характеру залежності твердості за Віккерсом і мікротвердості матриці із зростанням вмісту Y .

1. *Wu X.* Review of alloy and processing development of TiAl alloys // *Intermetallics*. — 2006. — 14. — P. 1114—1122.
2. *Lasalmonie Alain.* Intermetallics: Why is it so difficult to introduce them in gas turbine engines // *Ibid.* — P. 1123—1129.
3. *Xia K., Wu X., Song D.* Effects of Gd addition, lamellar spacing and loading direction on creep behaviour of a fully lamellar Ti—44Al—1Mn—2,5Nb alloy // *Acta Mater.* — 2004. — No. 52. — P. 841—849.
4. *Li W., Inkson B., Horita Z., Xia K.* Microstructure observations in rare earth element Gd-modified Ti—44% (at.) Al // *Intermetallics*. — 2000. — 8, No. 5—6. — P. 519—523.
5. *Wu Y., Hwang S. K., Nam S. W., Kim N. J.* The effect of yttrium addition on the oxidation resistance of EPM TiAl-based intermetallics // *Scripta Mater.* — 2003. — 48, No. 12. — P. 1655—1660.
6. *Wu Y., Umakoshi Y., Li X. W. and Narita T.* Isothermal oxidation behavior of Ti—50Al alloy with Y additions at 800 and 900 °C // *Oxidation of Metals*. — 2006. — 66, No. 5—6. — P. 321—335.
7. *Wu Y., Hwang S. K. and Morris J. W., Jr.* Development and elemental powder metallurgy of a Y-containing two-phase TiAl alloy // *Metallurgical and Materials Transactions*. — 2003. — 34, No. 10. — P. 2077—2087.
8. *Yang Z., Zhang F., Ren L. et al.* Determination of partial isothermal section of Ti—Al—Re (Y, Dy) ternary phase diagram at 1000 °C // *Proc. of the 8th National symposium on Phase Diagrams Commission on Phase Diagrams of China, XI'AN Northwest University, 20—22 October 1995.* — China, 1995. — P. 80—83.
9. *Raghavan V.* Al—Ti—Y (Aluminum—Titanium—Yttrium) // *J. of Phase Equilibria and Diffusion*. — 2005. — 26, No. 2. — P. 191.
10. *Bulanova M., Fartushna Yu., Podrezov Yu. et al.* Phase equilibria in the Ti—TiAl—DyAl₂—Dy region of the Ti—Dy—Al system and mechanical properties of

compositions // X Internat. conf. on Crystal Chemistry of Intermetallics Compounds. — Lviv, 2007. — P. 32.

11. Буланова М. В., Фартушная Ю. В., Подрезов Ю. Н. Влияние Si, Sn и Al на механические свойства сплавов системы Ti—Dy // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. “Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве”, Краматорск, 09—12 сентября 2008 года.
12. Гринберг Б. А., Иванов М. А. Интерметаллиды Ni₃Al и TiAl: микроструктура, деформационное поведение. — Екатеринбург, 2002. — 359 с.

Влияние Y на структуру и свойства литого интерметаллидного сплава Ti—36Al

Сообщение 1. Структура и твердость литых сплавов Ti—36Al—Y

И. Д. Горная, А. В. Яблокова, В. А. Тиньков, А. В. Котко,
В. С. Голтвяница, С. К. Голтвяница, С. А. Фирстов

Исследовано влияние иттрия на структуру, фазовый состав и твердость литого интерметаллидного сплава Ti—36% (мас.) Al. Показано, что небольшие добавки Y (0,1—0,6% (мас.)) модифицируют литую lamellarную структуру сплава. В сплавах с содержанием 0,8—5% (мас.) Y формируется доэвтектическая структура, которая состоит из фазы (γ-TiAl) и эвтектики (γ-TiAl + YAl₂). Кроме того, в структуре практически всех легированных сплавов выявлено наличие зерен Y. Отмечается, что установленные фазовые и структурные изменения определяют немонотонный характер зависимости твердости по Виккерсу литых сплавов Ti—36Al—xY при росте концентрации Y от 0,1 до 5% (мас.).

Ключевые слова: γ-TiAl сплавы, легирование, итрий, структура, фазовый состав, твердость.

Effect of Y on structure and properties of cast intermetallic Ti—36Al

1. Structure and hardness of cast Ti—36Al—Y alloy

I. D. Gorna, A. V. Yablokova, V. A. Tin'kov, A. V. Kotko,
V. S. Goltvyanitsa, S. K. Goltvyanitsa, S. A. Firstov

Yttrium effect on structure, phase composition and hardness of cast intermetallic Ti—36-wt. % Al alloy is studied. Small additions of Y (0,1—0,6%) are established to modify as-cast lamella alloy structure. Hypoeutectic structure consisting of (γ-TiAl) matrix and ((γ-TiAl) + (YAl₂)) eutectic is formed in alloys with Y content of 0,8—5%. It is be noted that yttrium grains are observed practically in the structure of every alloy with Y addition. The determine phase and structure changes are resulted in nonmonotonic dependence of Vickers hardness vs. Y concentration.

Keywords: γ-TiAl alloys, alloying, yttrium, structure, phase composition, hardness.