

УДК 669.295

Голтвяниця В.С.¹, Горна І.Д.²

¹канд. техн. наук, доцент, НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

²канд. фіз.-мат. наук, пров. наук. співр., Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ

ВПЛИВ Sc I Gd НА СТРУКТУРУ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИТИХ СПЛАВІВ Ti-36Al

Сплави на основі алюмініду титана γ -TiAl характеризуються низькою щільністю, високою питомою міцністю, стійкістю до окислення та високим опором повзучості при температурах понад 600 °С, тому і вважаються одними з найбільш перспективних високотемпературних легких конструкційних матеріалів, які використовують в ключових компонентах аерокосмічних літаків і автомобільних двигунів. Надзвичайно актуальною залишається проблема обмеженої низькотемпературної пластичності γ -TiAl

сплавів і варіювання їх жорсткості. Через обмежену пластичність такі інтерметалідні сплави важко обробляти і деформувати за кімнатної температури [1-3].

Реальні γ -сплави, як правило, завжди містять кисень, який може радикально вплинути на поведінку матеріалів внаслідок великої спорідненості до нього як Al, так і Ti. Кисень, що входить в розплав, головним чином компонентами шихти, зв'язує певну кількість Al в оксиди за механізмом внутрішнього окислення. Для того, щоб утворювався суцільний шар Al_2O_3 , при концентрації Ti, близької до розрахованої, потрібно, щоб Al не приймав участь в утворенні оксидів всередині сплаву. Цього можна досягнути за рахунок введення в γ -сплави елементів, що утворюють оксиди більш активно, ніж Al. Оцінка термодинамічних характеристик фаз, що можуть формуватись при окисленні сплавів γ -TiAl, а також аналіз літературних даних показали високу потенційну можливість Sc і Gd утворювати окисли Ti. Кількість робіт, присвячених впливу Sc і Gd на структуру і властивості γ -TiAl сплавів дуже обмежена, але поява таких досліджень в останні роки свідчить про науковий і практичний інтерес до використання таких елементів для мікрولةгування γ -сплавів [4-5]. На разі збільшення пластичності цих сплавів є критично важливим для технологічних процесів, таких як екструзія, прокатка, штампування, витяжка та волочіння.

Метою даної роботи є дослідження впливу легування Sc та Gd на структурно-фазовий стан та фізико-механічні властивості сплаву еквіатомного складу Ti-36Al (тут і далі – мас. %).

Інтерметалідний сплав Ti-36Al з домішками Sc і Gd, отримували способом сплавлення спресованих шихтових брикетів (губчастий Ti марки ТГ 90 ГОСТ 17746-79, алюміній марки А8 ГОСТ 11070-74, алюмо-скандієва лігатура з вмістом Sc 2,2 %, металевий Ga виробництва компанії Treibacher Industrie AG) у лабораторній вакуумно-дуговій печі при силі струму близько 420...450 А і напрузі 40...45 В. У початковий період плавки вакуумуванням в камері печі досягали залишкового тиску 0,12. Після цього камеру заповнювали аргоном до тиску 50 кПа. Злитки масою 200 г та розмірами $\varnothing 65 \dots 70 \times 12$ мм отримували в мідному циліндричному водоохолоджуваному кристалізаторі.

Фазовий склад і структуру сплавів вивчали методами рентгенівського аналізу та скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Визначення фізико-механічних характеристик литих сплавів – мікротвердість H_v , модуль пружності E і пружність η , було проведено методом автоматичного ідентування.

Дослідження мікроструктури як нелегованого, так і легованого Sc і Gd сплаву Ti-36Al методом СЕМ показало, що лита структура складається з

крупних пластинчатих дендритів γ -фази, генетично пов'язаних з розташованими поміж ними ламельними колоніями ($\gamma+\alpha_2$). Об'ємна частка α_2 -фази модельного сплаву еквіатомного складу дорівнює $\sim 1\%$.

Було встановлено, що при зі збільшенням вмісту Sc до $0,05\%$ і Gd до $0,7\%$ сплаву Ti-36Al зростає об'ємна частка дендритів γ -фази.

При додаванні $0,05\%$ Sc спостерігали відносно однорідний його розподіл між структурними елементами сплаву Ti-36Al. В той же час зростання вмісту Sc до $0,4\%$ привело до появи в структурі місць з локальним підвищенням його концентрації, що може бути пов'язано з утворенням відповідного оксиду, враховуючи високу спорідненість Sc до кисню. Крім того, підвищена концентрація Sc спостерігається в пластинах дендритів γ -фази, оскільки Sc має більшу розчинність в менш щільній тетрагональній ґратці.

Аналіз розподілу Gd між структурними компонентами литого сплаву Ti-36Al показав, що в структурі сплаву Ti-36Al- $0,09\text{Gd}$ відзначаються концентраційні неоднорідності. Тенденція підсилюється зі збільшенням його концентрації. При вмісті $0,7\%$ Gd на границях литих зерен можна спостерігати крупні частки з підвищеним вмістом Gd, які є відповідними оксидами Gd. Такі оксиди «пальцевидної» форми, розташовані по границях кристалітів, можуть бути потрійними сполуками, що описуються формулою Gd_2TiO_5 .

Формування в литому базовому сплаві за рахунок внутрішнього окислення при виплавці злиwkів складних оксидів за участю Sc і Gd призводить до звільнення частини атомів алюмінію, що означає зміни в співвідношенні фаз γ/α_2 в бік γ -фази з більшою концентрацією Al, що, в свою чергу, позначиться на механічних властивостях TiAl-сплавів. Відомо, що фазовий склад, структура і властивості таких сплавів критично залежать від концентрації Al в межах області гомогенності [1].

Таким чином, модифікування литої структури сплаву Ti-36Al може бути пов'язано з утворенням в процесі плавлення дисперсних оксидів Sc і Gd за рахунок їх більш високої розкислюючої дії в порівнянні з Ti та Al.

Аналіз фізико-механічних властивостей показав, що додавання як Sc (до $0,4\%$), так і Gd (до $0,7\%$) приводить до підвищення в порівнянні з базовим сплавом твердості на $\sim 44\%$ і $\sim 33\%$ відповідно. В той же час значення модуля пружності знижується зі 128 ГПа до 125 ГПа для малих концентрацій Sc і Gd – $0,05$ і $0,09\%$. І, якщо подальше збільшення вмісту Sc до $0,4\%$ приводить до зростання модуля, підвищення концентрації Gd до $0,7\%$ визначає невелике зменшення модуля пружності. Очевидно, що складний вплив мікролегування на властивості γ -сплаву Ti-36Al може бути пов'язаний з дією ряду механізмів зміцнення: твердорозчинного, мікроструктурного (модифікування литої структури) та дисперсного (за рахунок утворення

дисперсних оксидів).

Список використаних джерел

1. F. Appel, J. Paul, M. Oehring. Gamma Titanium Aluminide Alloys: Science and Technology. Wiley-VCH, Weinheim, Germany. 2012. Print ISBN:9783527315253 |Online ISBN:9783527636204
2. M. Burtscher, T. Klein, J. Lindemann, O. Lehmann, H. Fellmann, V. Güther, H. Clemens, S. Mayer. An advanced TiAl alloy for high-performance racing applications. Materials. 2020.13(21). 4720
3. H. Clemens, S. Mayer. Design, processing, microstructure, properties, and applications of advanced intermetallic TiAl alloys. Adv. Eng. Mater. 2013. 1. P. 191-215.
4. Mu-Rong Y., Wu S.K. Oxidation resistance improvement of TiAl intermetallics using surface modification. Intermetallics. 2003. Vol.10. P. 489 – 495.
5. Qiang Wang, Xinlin Wu, Zhongkai Bai, Le Gu, Hongsheng Ding, RuirunChen, Jingjie Guo. Microstructures and mechanical properties of a γ -TiAl alloy modified by Gd additions. Materials Science and Engineering: A. 2024. V. 894. 146187