

Ворон М.М.
(ФТІМС НАН України, м. Київ)
РОЗРОБКА ЖАРОМІЦНИХ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ
СПЛАВІВ, ЛЕГОВАНИХ Fe, Mn, Cr, Co та Ni
E-mail: mihail.voron@gmail.com

В сучасному світі існує стійка тенденція до підвищення рівня експлуатаційних властивостей широкого ряду матеріалів. Одним із важливих сучасних питань в цьому плані є підвищення жароміцності існуючих алюмінієвих сплавів та розробка нових композицій на основі алюмінію, які здатні працювати в екстремальних умовах [1].

Додавання до алюмінієвих сплавів нерозчинних частинок, або їх «in-situ» синтез завдяки мікролегуванню дозволяє реалізувати так званий механізм Орована, який полягає у блокуванні руху дислокацій стабільними дрібнодисперсними частинками, що і забезпечує підвищення високотемпературної міцності. Так, наприклад, з цією метою до сучасних найбільш вживаних промислових жароміцних сплавів систем Al-Si та Al-Si-Cu, з метою підвищення жаростійкості та жароміцності додають у незначних кількостях перехідні метали, які утворюють дрібнодисперсні нерозчинні алюмініди [2]. Важливим фактором для одночасного збереження низькотемпературної та підвищення високотемпературної міцності та пластичності таких сплавів є утворення частинок з кубічною або тетрагональною кристалічною будовою типу $L1_2$ або DO_{22} , до яких відносяться сполуки Al_3Sc та Al_3Ti , Al_3Mo , Al_3V та декілька інших [3].

Розробка сучасних ливарних жароміцних сплавів передбачає створення систем легування на основі високотемпературних евтектик з такими елементами, як Fe, Mn, Co, Ni та Cr, які також мають низький коефіцієнт дифузії в алюмінії та утворюють стабільні інтерметаліди з ним [4]. Хоча сполуки алюмінію з цими елементами мають орторомбічні, гексагональні або моноклінні ґратки – вони здатні утворювати евтектики волокнистої будови з нанорозмі-

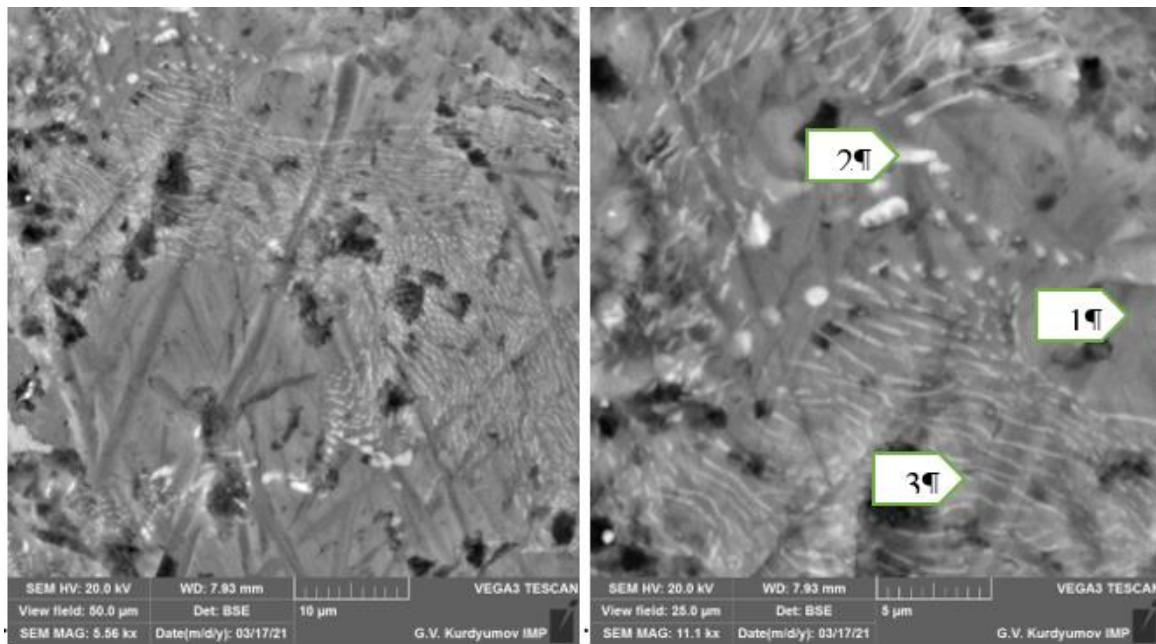
рними вкрапленнями власних алюмінідів, що забезпечує високий рівень механічних властивостей таких сплавів [5, 6].

На сьогоднішній день сплави подібних систем мало досліджені з позиції розробки ливарних складів. Частіше за все такі композиції розглядаються в якості високоентропійних або аморфних сплавів та вимагають спеціальних методів лиття – реолиття, розливання на мідні диски або барабани з метою утворення аморфних частинок, тощо [6].

Для того, щоб оцінити перспективи створення та особливості структурно-фазового стану ливарних жароміцних сплавів на основі алюмінію, легovanого перехідними металами, було виготовлено сплав на основі Al-Al₃Fe евтектики наступного хімічного складу: Al-1,5Fe-1Ni-0,5Mn-0,5Mg-0,3Co (% мас.). Плавлення проводилося в алундовому тиглі до температури 850 °С, що забезпечило розчинення перитектичних фаз з подальшою заливкою в підігрітий до 200 °С сталевий кокіль. Мікроструктура одержаного сплаву представлена на рис. 1. Хімічний склад виділених фаз представлено в табл. 1.

Як видно із зображення мікроструктури, для сплаву характерними є три основні структурні складові – дрібні зерна твердого розчину на основі алюмінію розміром 10-50 мкм, волокниста евтектика та дрібні поодинокі вкраплення інтерметалідів.

Варто відмітити, що волокна, які входять до складу евтектики мають товщину порядку 100 нм, що є позитивним фактором для формування високого рівня механічних властивостей готових виробів. Інтерметалідні вкраплення сприятливої морфології з розмірами 0,5-1,0 мкм схожі за складом на евтектику, що вказує на важливу роль нікелю в структуроутворенні даного сплаву. Одночасне знаходження у твердому розчині разом з магнієм заліза та марганцю вказує на потенційне зниження негативного ефекту втрати міцності і твердості твердим розчином при нагріванні, що є важливим для жароміцних сплавів.



а

б

Рис. 1. Мікроструктура дослідного сплаву: загальний вигляд (а), з місцями визначення локального хімічного складу структурних складових (б)

Таблиця 1 – Хімічний склад виділених на рис. 1 (б) структурних складових

Точка	Хімічний склад, % мас.						
	Al	Mg	Fe	Mn	Co	Ni	Si
1	99,29	0,32	0,18	0,47	0,01	0,3	–
2	87,52	0,55	5,03	0,4	0,44	5,82	0,24
3	93,94	0,28	2,54	0,54	0,33	1,78	0,11

Література:

1. Richard Rajan, Paul Kah, Belinga Mvola, Jukka Martikainen. Trends in aluminium alloy development and their joining methods // Reviews on Materials Science. 2016. – № 4 (44). – pp. 383-397.

2. Rakhmanov J., Timelli G., Bonollo F. The effect transition elements on high-temperature mechanical properties of Al-Si foundry alloys – A review. Advanced engineering materials. 2016. – № 7. – pp. 1096-1105.

3. Knipling K. E., Dunand D. C., Seidman D. N. Criteria for development castable, creep-resistant aluminium-based alloys – A review. *Z. Metallkd.* – 2006. – № 97. – pp. 246-265.

4. Mondolfo L. F. *Aluminium alloys: structure and properties.* London/Boston: Butterworths, 1976. – P. 640.

5. Kumar K. S. Ternary intermetallics in aluminium refractory-metal X systems ($X = V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn$). *Intermetallic Materials Review.* 1990. – № 35 (6). – pp. 293-327.

6. Wang X., Guan R., Wang Yu. Formation Mechanism of Nanoscale Al_3Fe Phase in Al-Fe Alloy During Semisolid Forming Process. *Metallurgical and Materials Transactions B.* 2018. – № 5 (49). – pp. 2225-2231.

Ворон М.М., Фон Прусс М.А.

(ФТІМС НАН України, м. Київ)

**ВПЛИВ МОЛІБДЕНУ НА НЕЙТРАЛІЗАЦІЮ
ЗАЛІЗОВМІСНИХ ФАЗ ЛИВАРНОГО СПЛАВУ $AlSi9Cu3$**

E-mail: m.fonpruss@gmail.com, mihail.voron@gmail.com

Алюмінієві сплави через свої властивості (високі показники міцності та пластичності, задовільну стійкість проти атмосферної корозії, порівняно низьку вартість та легкість отримання і обробки) використовуються практично у всіх галузях промисловості: автомобільній, космічній, морській, електротехнічній та інших [1].

Залізо є головною технологічною і однією з найбільш небезпечних домішок у більшості промислових ливарних алюмінієвих сплавів через утворення голкоподібних шкідливих фаз. Залізо є природною домішкою, яка виникає в ході виробництва первинного алюмінію, проте його рівень в алюмінієвих сплавах продовжує збільшуватися з кожним переплавом в ході виробництва і вторинної переробки. Типові вторинні сплави для лиття не під тиском зазвичай містять залізо в інтервалі від 0,25 до 0,8% мас., а найчастіше – від 0,4 до 0,7%. Причина такого низького вмісту заліза в сплавах походить