УДК 621.74
Кудін В.В.[1], Петруша Ю.П.[2], Шустов С.О.[3]
[1] канд. техн. наук, доцент, НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя
[2] канд. техн. наук, доцент, НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя
[3] завідувач лабораторії, НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОРШНЕВОГО АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ ЗА ДОПОМОГОЮ НАНОЧАСТОК ТА МОДИФІКУВАННЯ

Алюмінієві сплави широко використовуються у багатьох галузях промисловості від машинобудування до авіабудування. Тому питання оптимізації хімічного складу, мікроструктурного стану та рівня механічних властивостей алюмінієвих сплавів є завжди актуальним при використанні їх у різних галузях. Інститутом електрозварювання імені Е.О.Патона проведені роботи по отриманню наноструктурованих матеріалів у вигляді алюмінієвих пластин, які містять 40% наночасток AI_2O_3. Партія такого матеріалу була використана як модифікатор при введенні в розплав алюмінієвого сплаву АК7ч, призначеного для виготовлення поршнів двигунів внутрішнього згоряння.

Дослідження відбувалися в лабораторіях кафедри «Машини і технологія ливарного виробництва» НУ «Запорізька політехніка». Плавки алюмінієвого сплаву АК7ч проводили в порційній індукційній печі (вага кожної плавки становила 15 кг) з введенням різних модифікаторів. Заливку рідкого металу здійснювали у металевий кокіль для виливка «Поршень». Проведені дослідні плавки з наступним введенням наночасток та модифікуванням:

- базовий сплав АК7ч (пл. №0);

- наночастки AI_2O_3 у вигляді пластин в кількості 0,05% (пл. №1) та 0,5% (пл. №2) (концентрація AI_2O_3 розрахована по масі розплаву);

- пресовані пігулки, що складаються з подрібнених в порошок алюмінієвих пластин, що містять 40% AI_2O_3, модифікатора K_2ZrF_6 і порошку алюмінію марки ПА-4 в кількості 0,05% Al_2O_3 та 0,2% K_2ZrF_6 (пл. №3), а також 0,5% Al_2O_3 та 1,0% K_2ZrF_6 (пл. №4).

Зразки дослідних плавок піддали термічній обробці по режиму: гартування при $T = 500 \pm 5$ºС, $\tau = 3$ години, охолодження в воді; старіння при $T = 175 \pm 5$ºС, $\tau = 5$ годин, охолодження на повітрі.

З метою оптимізації мікроструктури та властивостей поршневого алюмінієвого сплаву досліджували хімічний склад, механічні властивості та жароміцність, а також мікроструктуру зразків, як з базового алюмінієвого сплаву АК7ч, так і сплавів з різними варіантами модифікування.

Рівномірність розподілу хімічних елементів визначали в різних зонах

макротемплетів (з боків, та в центрі), виготовлених в поперечному перерізі стандартних зразків. Вміст елементів в досліджуваних зонах всіх плавок знаходився приблизно на одному рівні та відповідав вимогам ДСТУ 2839-94, тобто ліквація по хімічному складу відсутня. Метал щільний, бал загальної газової пористості відповідав 1-му балу шкали пористості.

Дослідження результатів випробувань механічних властивостей та жароміцності показали, що всі зразки дослідних плавок відповідали вимогам стандарту ДСТУ 2839-94 (табл. 1). Випробування зразків на жароміцність при підвищеній температурі проводили по режиму: температура випробування T = 300°C, σ = 5 кг/мм^2.

Таблиця 1 – Механічні властивості та жароміцність дослідних плавок

Матеріал	№ плавки	Механічні властивості при кімнатній температурі							Жароміцність, (витримав годин до руйнування)
		σв, кг/мм^2			δ, %			Твердість, НВ	
АК7ч	**0**	30,5	28,6	29,2	2,8	3,0	–	117	61 ^{00}
АК7ч + Al_2O_3	**1**	28,1	27,4	26,1	2,7	2,4	2,9	119	59 ^{00}
	2	31,3	31,0	30,6	3,2	3,4	3,1	124	61 ^{00}
АК7ч + Al_2O_3 + K_2ZrF_6	**3**	31,4	31,3	30,7	3,6	3,7	3,5	130	65 ^{30}
	4	33,4	33,7	34,1	4,2	3,8	4,1	138	76 ^{00}
ДСТУ 2839-94		≥ 19			–			114-130	≥ 50

Аналіз результатів показав (табл. 1), що в зразках (пл. №2, 3, 4) відбулося підвищення твердості в порівнянні з базовим зразком (пл. №0), значення межі міцності, відносного подовження та жароміцності також збільшилися, особливо зразка (пл. №4), що незначно перевищують вимоги стандарту. Деяке зниження міцності зразка (пл. №1) можна пояснити наявністю ливарних дефектів, газової пористості, виявленої в зламах, що підтвердилося також при дослідженні мікроструктури.

Металографічний аналіз мікроструктури проводили за допомогою світлового мікроскопа NEOPHOT-32, після травлення шліфів в реактиві Келлера (2 мл –HF, 1мл - HCI, 1 мл – HNO_3,80 мл – H_2O). При дослідженні встановлено, що мікроструктура зразків представляла собою дендрити алюмінієвого твердого розчину (Al), в міждендритних просторах – алюмінієво-кремнієва евтектика (Si-Al) та інтерметалідні з'єднання у вигляді компактних виділень α-фази типу $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$ та β-фази типу $(FeSiAl_5)$. Мікроаналіз, виконаний на растровому електронному мікроскопі JSM 6360LA з системою РСМА показав, що до складу β-фази входили Al, Si, Fe, Mn; до складу α-фази - Al, Si, Fe, Mn, Cr, Cu. в межах чутливості методу вимірювання.

Порівняльний аналіз мікроструктур базового сплаву із сплавами з введенням наночасток та модифікуванням показав (рис. 1), що в мікроструктурі зразків (пл. №1) та (пл. №2) помітних змін в розмірах дендритів АІ-твердого розчину та евтектичних складових не відбулося. В мікроструктурі зразків (пл. №3) та (пл. №4) в результаті введення в сплав модифікатора K_2ZrF_6 зменшилися розміри колоній евтектики з формуванням тонкої диференційованої глобулярної форми виділень евтектичного кремнію.

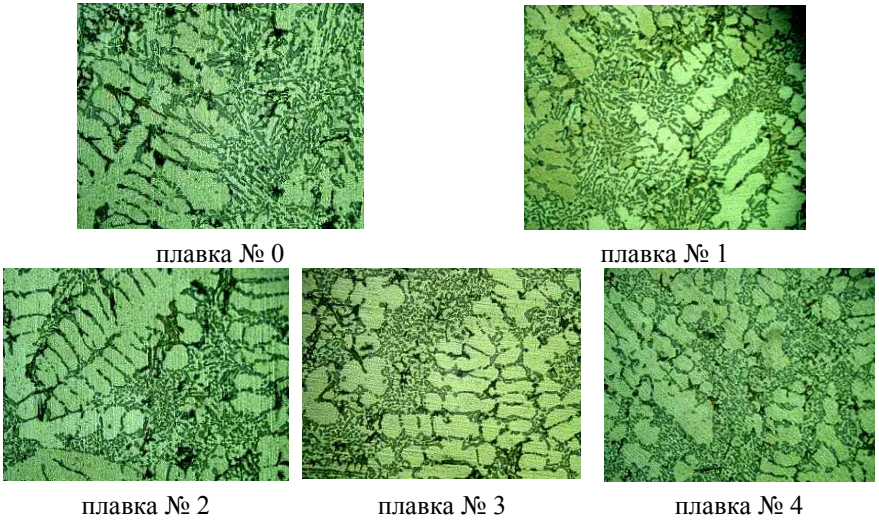

Рисунок 1 – Мікроструктура зразків дослідних плавок, ×500.

Дослідження по оптимізації поршневого алюмінієвого сплаву показали, що найкращі показники механічних властивостей та мікроструктури спостерігалися в зразку (пл. №4), в який було введено 0,5% наночасток Al_2O_3 та 1,0% модифікатора K_2ZrF_6. Так межа міцності в термічно обробленому стані підвищилася на 12,8%, відносне подовження майже на 40%, твердість на 18%, а жароміцність на 24,6%, в порівнянні з зразками із базового алюмінієвого сплаву АК7ч. Таким чином, вказані переваги дозволять забезпечити більш високий рівень механічних властивостей та жароміцності виливків з алюмінієвого сплаву АК7ч, та рекомендувати розроблену технологію введення в сплав 0,5% наночасток Al_2O_3 та 1,0% модифікатора K_2ZrF_6 в серійне використання при виробництві поршнів для побутової техніки.