

заліза в цих зонах виливка, зумовлене накопиченням заліза на фронті тверднення і збільшенням його концентрації по радіусу виливка в процесі просування фронту тверднення зі швидкістю, пропорціональній швидкості охолодження в рідко-твердому стані. В цих зонах можуть утворюватися залізовмісні фази, кількість, склад і морфологія яких характерні для сплавів, у яких у рівноважному стані вміст заліза перевищує 3,3 % (див. рис. 1 в, ж). Крім первинних, в структурі присутні евтектичні залізовмісні фази α^* і β , розмір яких збільшується в напрямку від поверхні до центру виливка (див. рис. 1, 5).

На відміну від сплавів з меншою концентрацією заліза (0,8 - 2,0 %) при швидкості охолодження 70 °C/c у напрямку від поверхні до центру виливка спостерігається зменшення, а не збільшення площі дендритних комірок Al_α (див. рис. 4, а). Зменшується їх фактор форми (див. рис. 4, б). Такі структурні зміни пов'язані з тим, що тугоплавкі включення первинних залізовмісних фаз, кількість яких досить велика в цих зонах виливка (див. рис. 1 б, в, д, ж), є додатковими центрами кристалізації твердого розчину алюмінію, первинні кристали якого виділяються після формування первинних залізовмісних фаз $Al_{13}Fe_4$ і α^* .

При зниженні швидкості охолодження до 2 °C/c і 0,35 °C/c (див. рис. 2, 3) частка первинних кристалів залізовмісних фаз, особливо $Al_{13}Fe_4$, значно зменшується, збільшується їх розмір, а також розмір інших структурних складових (див. рис. 4, а; 5; 6, а; 7). При цих швидкостях охолодження переважно утворюються первинні дендрити фази α^* , гілки яких у перетині мають форму багатогранників. Внаслідок зменшення кількості первинних залізовмісних фаз закономірності зміни розміру, фактора форми Al_α (див. рис. 4) і розміру фази β (див. рис. 5) по радіусу виливка при цих швидкостях охолодження аналогічні сплавам з концентрацією заліза 0,8 – 2 %. Збільшується об'ємна частка евтектичних кристалів α^* . При охолодженні зі швидкістю 0,35 °C/c відбувається суттєве їх огрубіння (див. рис. 3).

УДК 669.018.23:66.045.5

А. Г. Пригунова, Є. А. Жидков, В. Д. Бабюк

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: adel_nayka@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СПЛАВУ ВАЛ10 ДРІБНОКРИСТАЛІЧНИМИ ЛІГАТУРАМИ

При постійно зростаючих вимогах до металопродукції традиційні шляхи підвищення її властивостей стають все менш ефективними. Резервом поліпшення фізико-

механічних, експлуатаційних характеристик алюмінієвих сплавів, удосконалення їх структури є способи модифікування, засновані на явищі структурної спадковості [1-3], практичне застосування якого полягає у передачі закладеної в шихті інформації через рідку фазу і її прояв при твердненні та подальшому використанні литого виробу. З таких позицій важливе значення мають дослідження, спрямовані на одержання ефективних модифікаторів нового класу з використанням процесів високошвидкісного охолодження, здатних впливати на структуру, фазовий склад та пов'язані з ними властивості.

Для підвищення зносостійкості високоміцного ливарного алюмінієвого сплаву ВАЛ10 в роботі використано метод модифікування, в основі якого використання швидкоохолоджених ($V_{\text{охол.}} \geq 10^5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$) дрібнокристалічних лігатур AlTi5 і AlZr10, а також лігатури хімічного складу базового сплаву з нанорозмірною величиною інтерметалідів і кристалів Al α .

Спеціально підготовлені лігатури являють собою переривисті стрічки («чіпси») товщиною від 100 до 500 мкм. «Чіпси», які попередньо компактували, вводили до розплаву при його перегріві вище температури ліквідусу ($651 \text{ }^\circ\text{C}$) на $69\text{-}70 \text{ }^\circ\text{C}$ у такій кількості: лігатуру на основі базового сплаву ВАЛ10 – 12 мас. %; лігатури AlTi5 і AlZr10 – у перерахунку на чистий титан і цирконій відповідно 0,15 мас. % і 0,25 мас. %.

Трибологічні дослідження здійснювали на розробленій установці для вимірювання коефіцієнта тертя і зносостійкості сплавів в умовах ультралегкого зносу з регульованою швидкістю обертання контртіла і фіксацією випробуваного зразка, що гарантує повний збіг поверхонь тертя зразка і контртіла після дискретних вимірювань. При встановленому навантаженні (250 г) за допомогою розробленого програмного забезпечення проводили вимірювання сили тертя із заданою частотою і розрахунок коефіцієнта тертя за виразом:

$$\mu = F/N,$$

де μ - коефіцієнт тертя; F - сила тертя, Гс; N - навантаження по нормалі, г.

Дослідний зразок являє собою циліндр діаметром 8 мм і довжиною від 20 мм до 25 мм. В якості контртіла використано зразок із сірого чавуну марки СЧ-20. Програмне забезпечення (програма ViewPort) дозволяє здійснювати запис сили тертя (рис. 1) в діапазоні від 0 км до 99 км дистанції пробігу зразка, за величиною якої розраховували коефіцієнт тертя дослідного зразка. Дані дослідження записували в окремий файл, результати якого обробляли з використанням відомих програм, таких як Origin, Статистика.

Результати трибологічних досліджень сплаву ВАЛ10, модифікованого різними способами, наведено на рисунках 1, 2 та в таблиці.

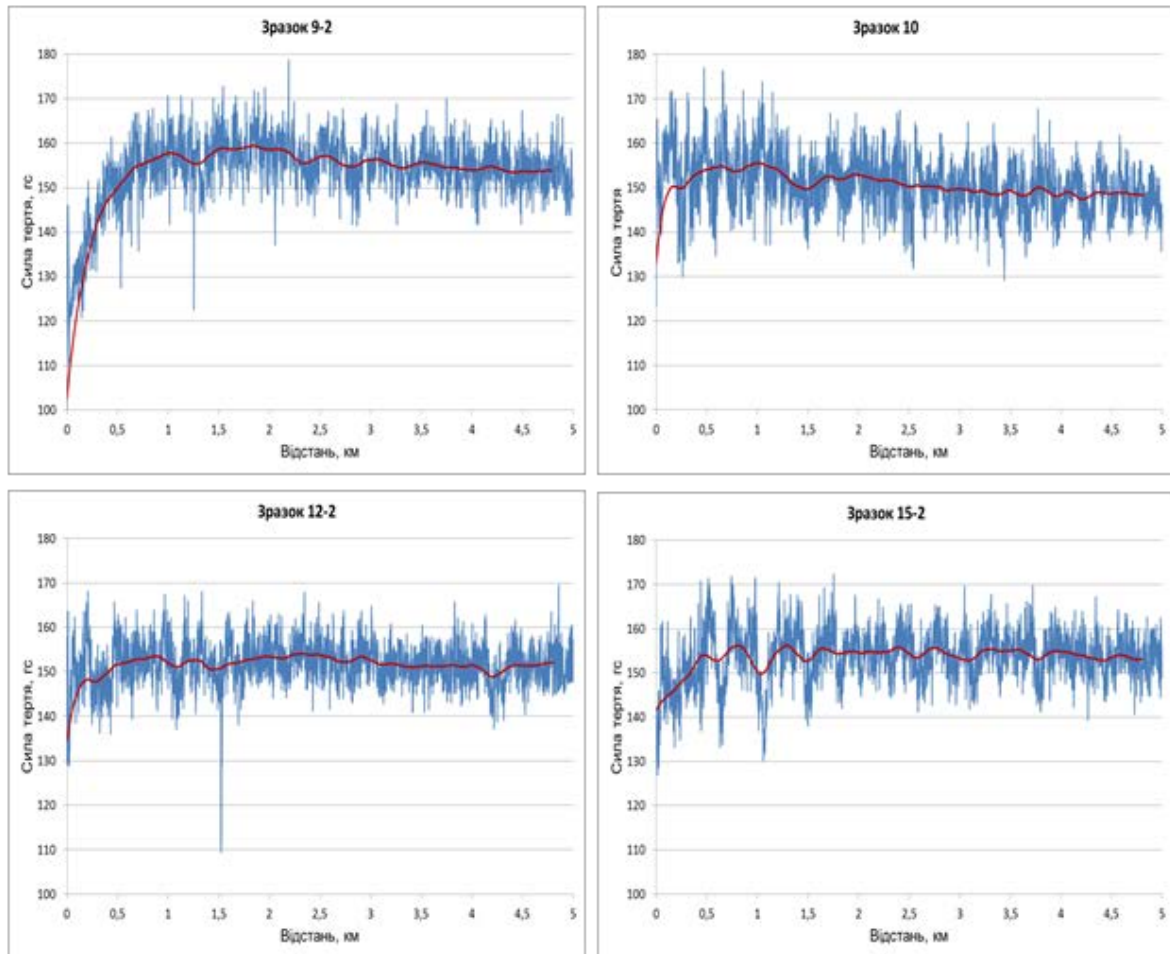


Рис. 1 – Діаграми сили тертя зразків сплаву ВАЛ10, охолоджених у литому стані зі швидкістю 33 °С/с, при різних схемах модифікування: 9-2 – немодифікований сплав; 10 – сплав, модифікований 12 мас. % «чїпсїв» зі сплаву ВАЛ10; 12-2 – модифікований 0,15 мас. % Тї; 15-2 - модифікований 0,25 мас. % Zr

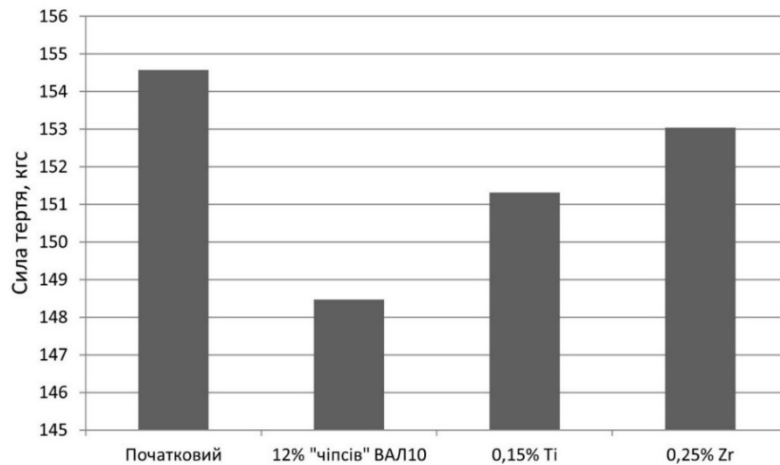


Рис. 2 – Залежність сили тертя в сплаві ВАЛ10, охолодженого в литому стані зі швидкістю 33 °С/с, від способу модифікування дрібнокристалічними лігатурами

Таблиця – Експериментальні дані коефіцієнту тертя та зносу сплаву ВАЛ10 при різних способах модифікування

Зразок*	Вага до випробування, г	Вага після випробування, г	Втрата ваги, г	Коефіцієнт тертя
9-2	5,0317	5,0057	0,0260	0.394
10	6,2048	6,1844	0,0204	0.378
12-2	3,5218	3,5004	0,0214	0.386
15-2	5,0634	5,0396	0,0238	0.390

* 9-2 – вихідний сплав; 10 – сплав, модифікований 12 мас. % «чіпсів» складу сплаву ВАЛ10; 12-2 – модифікування «чіпсами» із лігатури AlTi5 у перерахунку на 0,15 мас. % Ti; 15-2 - модифікування «чіпсами» із лігатури AlZr10 у перерахунку на 0,25 мас. % Zr

Експериментально встановлено, що модифікування дрібнокристалічними лігатурами підвищує зносостійкість сплаву ВАЛ10. Найкраща зносостійкість досягається при введенні до розплаву дрібнокристалічних частинок складу базового сплаву в кількості 12 мас. %. Такий спосіб модифікування дозволяє на 21,5 % зменшити втрату ваги в процесі сухого тертя, на 4 % зменшити силу і коефіцієнт тертя (див. табл., рис. 2), що сприяє подовженню терміну експлуатації виливків в умовах абразивного зносу.

1. *Никитин В.И.* Наследственное влияние структуры лигатур на эффективность модифицирования сплава АК9ч / В.И. Никитин, Д.С. Кривопапов, К.В. Никитин // Литейщик России. – 2012 – № 8. – С. 31 – 33.

УДК 669.018.23:66.045.5

А. Г. Пригунова, Є. А. Жидков, В. Д. Бабюк, Л. К. Шеневідько, Т. Г. Цір

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: adel_nayka@ukr.net

СТРУКТУРА ТА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВУ ВАЛ10, МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОКРИСТАЛІЧНИМИ ЛІГАТУРАМИ

Загальновідомо про підвищення властивостей алюмінієвих сплавів введенням до розплаву титану і цирконію, які відносяться до модифікаторів II роду і сприяють суттєвому подрібненню зерна. Очікується, що використання швидкоохолоджених ($V_{\text{охол.}} \geq 10^5$ °C/c) з рідкого стану стандартних лігатур AlTi5 і AlZr10 збільшить ефективність їх дії. Керуючись принципом структурної і розмірної відповідності Данкова-Конобєєвського, можна сподіватися, що використання охолодженої таким чином лігатури хімічного складу базового сплаву ВАЛ10 з дисперсними тугоплавкими інтерметалідними фазами також сприятиме його модифікуванню. Виходячи з вищенаведеного в роботі досліджено вплив модифікування дрібнокристалічними лігатурами AlTi5 і AlZr10, а також лігатурою складу базового сплаву на структуру та міцнісні характеристики ливарного алюмінієвого сплаву ВАЛ10.

Дрібнокристалічні лігатури, одержані високошвидкісним охолодженням у вигляді переривистих стрічок – «чіпсів» товщиною від 100 до 500 мкм, вводили до розплаву механічним замішуванням. Після чого його охолоджували з різними швидкостями. В рідко-твердому стані ці швидкості складали: 0,4; 1,8 і 33 °C/c, що відповідає охолодженню в піщаній формі, підігрітому (280 °C) і холодному (20 °C) чавунному кокілі. Швидкоохолодженню лігатуру («чіпси») зі сплаву ВАЛ10 вводили до розплаву в кількості 0, 3, 6, 9, 12 мас. %, AlTi5 і AlZr10 – із розрахунку одержання в сплаві певної концентрації Ti та Zr, а саме: титану 0,05; 0,15; 0,25 мас. %; цирконію 0,05; 0,25; 0,5 мас.%. Температура модифікування в усіх випадках складала 720 °C. Зразки, одержані литтям в