

компонентів, що призводять до збільшення термомеханічних навантажень на деталі та вузли двигуна.

Скорочення термінів проектування та удосконалення технології виробництва таких деталей представника складних корпусних виливків як блок циліндрів 4ДТНА-1 є складно здійсненним завданням без застосування методики комп'ютерно-інтегрованого проектування. Тому необхідно виконати інженерне моделювання ливарних технологічних процесів виробництва блока циліндрів з подальшим аналізом результатів фазового переходу, структури сплаву, дефектів, що виникають, для визначення етапів удосконалення технології, а також для визначення граничних і початкових умов для термо-міцнісних розрахунків. Дослідження проводяться в програмних комплексах NovaFlow і ANSYS. За результатами моделювання, виконаного в середовищі NovaFlow, було виявлено області ймовірного утворення дефектів і обрано методи їх усунення.

УДК 669.018.23:620.18

А. Г. Пригунова, В. Д. Бабюк, Є. А. Жидков, М. В. Кошелєв, Т.Г. Цір

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: adel_nayka@ukr.net

РОЛЬ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ У ПРОЦЕСАХ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ФАЗ У СПЛАВІ АК5М2 З 0,8 % ЗАЛІЗА

Методами термодинамічного моделювання з використанням програмного забезпечення фірми «Thermo-Calc» (Швеція), термічного аналізу (ДТА, ДСК) [1] та «стоп-гартування» [2] визначено фазові перетворення в сплаві АК5М2 з 0,8 % заліза за умов кристалізації, наближених до рівноважних: 1 – $P \rightarrow Al_{\alpha}$; 2 - $P \rightarrow \beta\text{-FeSi}_2\text{Al}_5 (\beta) + Al_{\alpha}$; 3 - $P \rightarrow \alpha\text{-(Fe,Mn,Cu)}_3\text{Si}_2\text{Al}_{15} (\alpha^*) + \beta + Al_{\alpha}$; 4 - $P \rightarrow \alpha^* + \beta + Si + Al_{\alpha}$; 5 - $P + \beta \rightarrow \pi\text{-FeMg}_3\text{Si}_6\text{Al}_8 (\pi) + Si + Al_{\alpha}$; 6 - $P \rightarrow \theta\text{-CuAl}_2 + Si + Al_{\alpha}$, $P \rightarrow \theta\text{-CuAl}_2 + \text{Mg}_2\text{Si} + Si + Al_{\alpha}$.

У промисловому виробництві такі умови практично не реалізуються. В роботі досліджено вплив швидкостей охолодження в двофазній області рідко-твердого стану 0,35; 2; 70 °С/с на процеси структуроутворення сплаву АК5М2 з 0,8 % заліза. Заливання розплаву в форми з різним теплофізичними характеристиками здійснено при температурі 650 °С. Результати досліджень наведено на рис. 1–7.

При охолодженні сплаву в мідній формі діаметром 20 мм, в якій швидкість охолодження складає 70 °С/с, приповерхневі ділянки вилівка представлено дендритами

твердого розчину алюмінію, що витягнуті в напрямку тепловідведення – від поверхні вилівка до його центру (див. рис. 1 а, г). Зона стовпчастих кристалів простягається на відстань майже до 5 мм. По мірі просування фронту тверднення (див. рис. 1, б, в, д, ж) збільшується розмір дендритних комірок – їх площа (S) (див. рис. 4, а), зменшується фактор їх форми (l) (див. рис. 4, б), який визначали як відношення більшого розміру дендритної комірки до меншого. Не дивлячись на збільшення площі дендритних комірок в центральних зонах вилівка, вони стають більш рівновісними. В структурі вилівка присутня достатньо велика кількість голкоподібної фази β , зміну розміру якої по радіусу вилівка наведено на рис. 5. Збільшення її розміру від периферії до центру вилівка обумовлено деяким зменшенням тепловідведення і відповідно швидкості охолодження в цьому напрямку. Внаслідок того, що атоми заліза практично не розчиняються в алюмінію (0,01 % – 0,05 %), вони накопичуються на фронті тверднення, який пересувається до центру вилівка, де зафіксоване деяке збільшення кількості β -фази (див. рис. 1, в, ж).

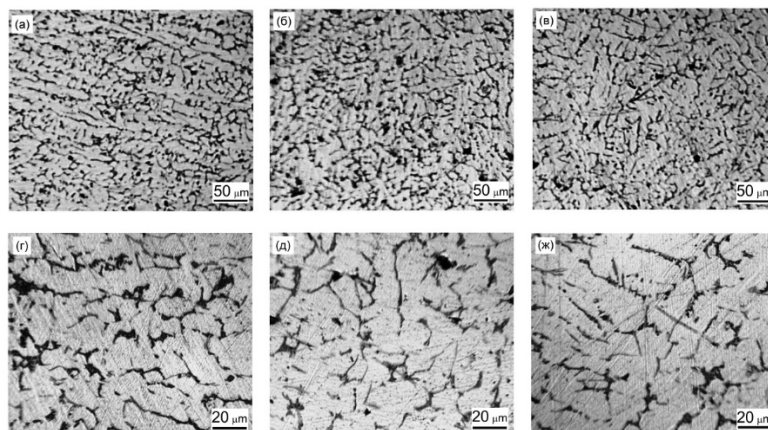


Рис. 1 – Мікροструктура вилівка сплаву АК5М2 з 0,8 % Fe при швидкості охолодження 70 °C/с: а, г – приповерхнева ділянка вилівка, що контактує з формою; б, д – ділянка вилівка на половині його радіусу; в, ж – центр вилівка

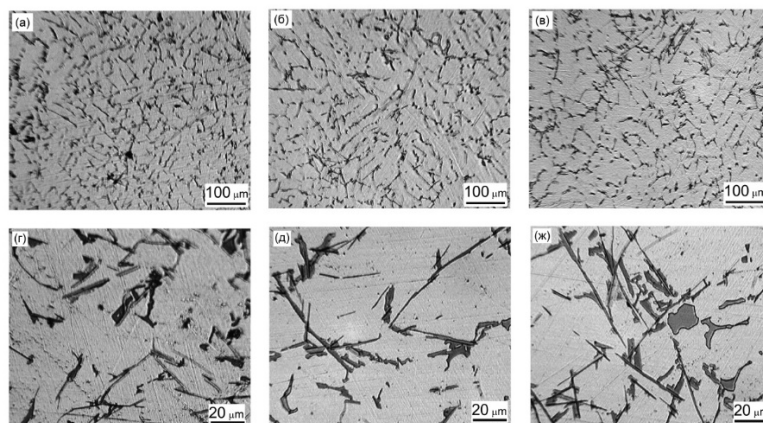


Рис. 2 – Мікроструктура виливка сплаву АК5М2 з 0,8 % Fe при швидкості охолодження 2 °С/с: а, г – приповерхнева ділянка виливка, що контактує з формою; б, д – ділянка виливка на половині його радіусу; в, ж – центр виливка

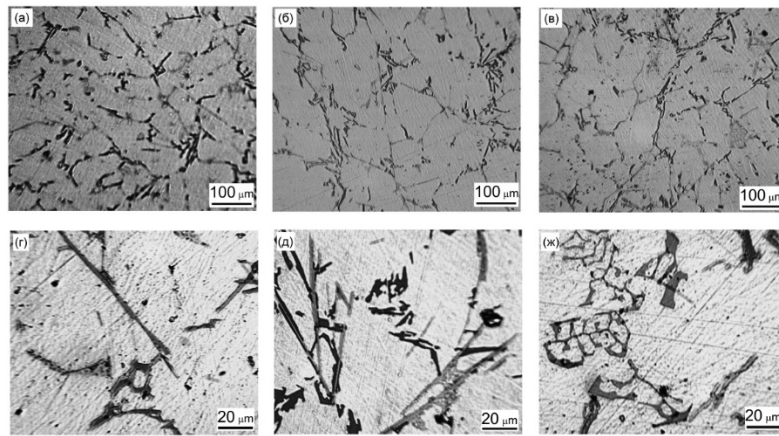
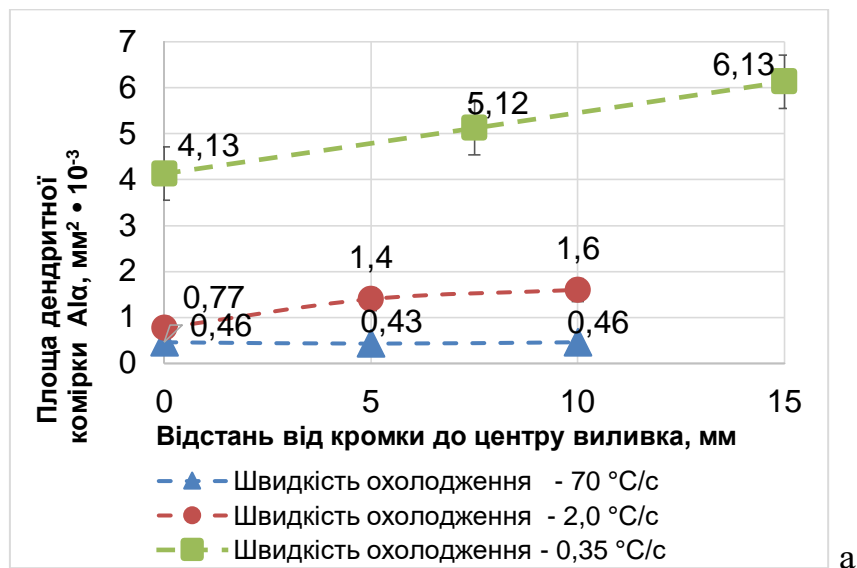


Рис. 3 – Мікроструктура виливка сплаву АК5М2 з 0,8 % Fe при швидкості охолодження 0,35 °С/с: а, г – приповерхнева ділянка виливка, що контактує з формою; б, д – ділянка виливка на половині його радіусу; в, ж – центр виливка



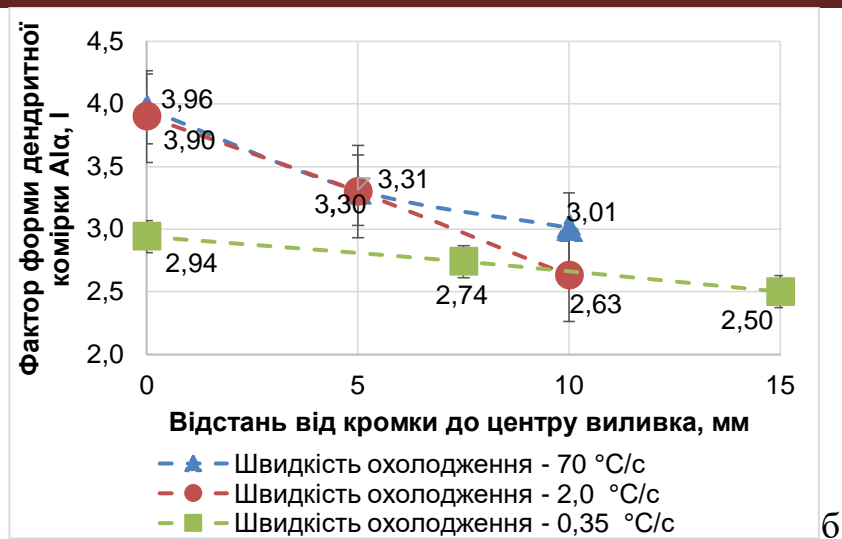


Рис. 4 – Зміна розміру (а) та фактору форми (б) дендритної комірки твердого розчину алюмінію по радіусу виливка у залежності від швидкості охолодження

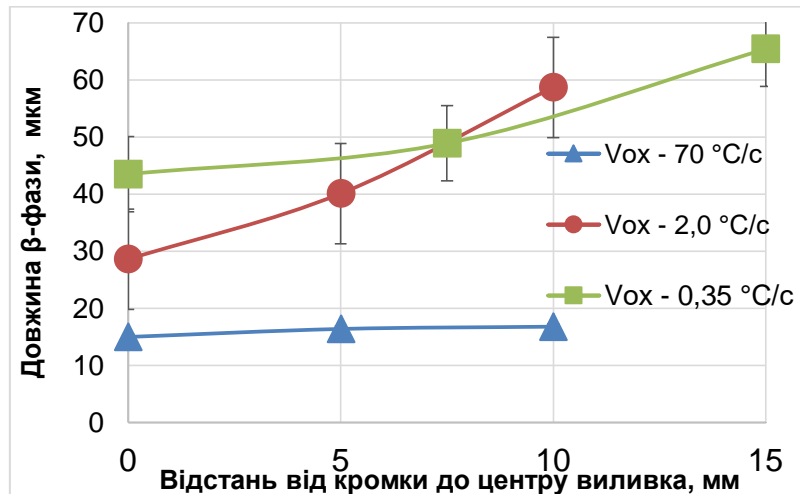
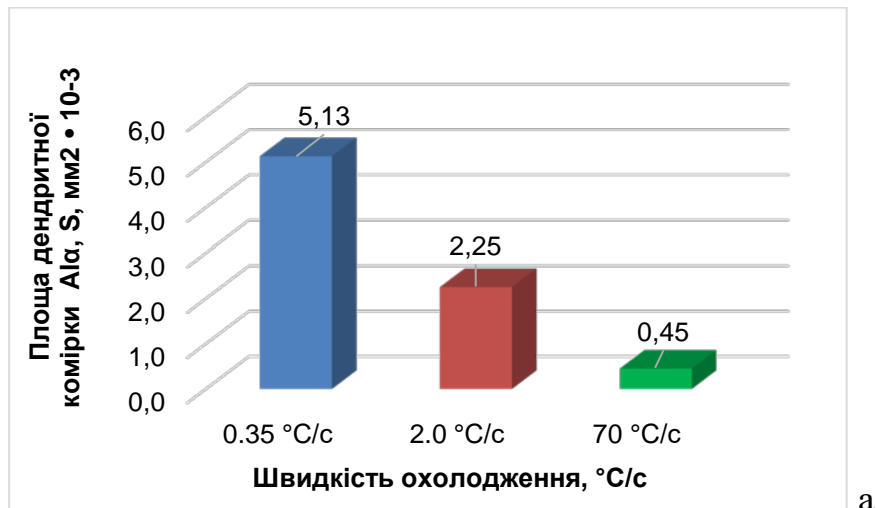


Рис. 5 – Зміна розміру β-фази по радіусу виливка в залежності від швидкості охолодження сплаву АК5М2 з 0,8 % Fe



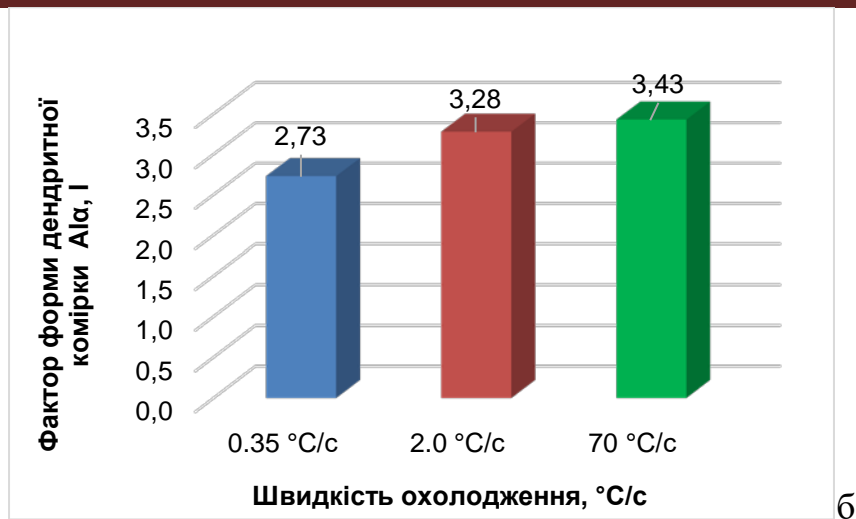


Рис. 6 – Зміна розміру (а) та фактору форми (б) дендритної комірки твердого розчину алюмінію у залежності від швидкості охолодження сплаву АК5М2 з 0,8 % Fe

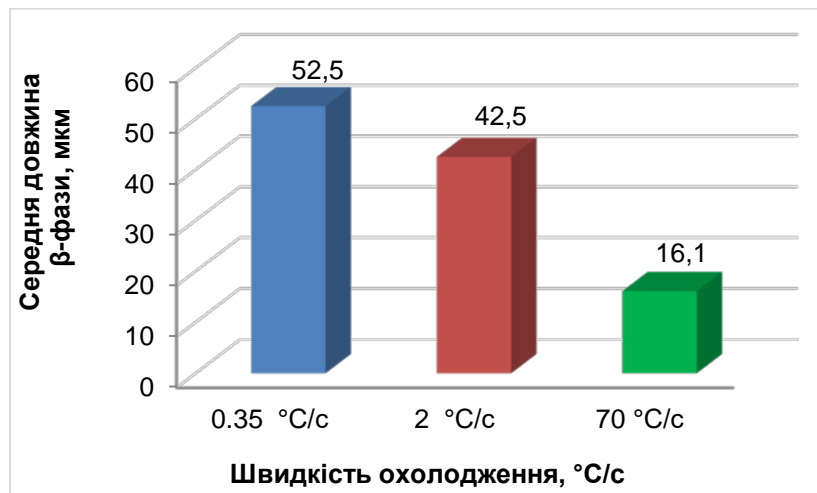


Рис. 7 – Залежність розміру β-фази від швидкості охолодження сплаву АК5М2 з 0,8 % Fe

При швидкості охолодження 70 °C/c кристали α* - фази в структурі майже відсутні. За умови, наближені до рівноважного стану [2], інтерметалід α* утворюється на третьому етапі тверднення після виділення із розплаву фази β за реакцією: P → β + Al_α, яка реалізується при суттєво меншому переохолодженні (ΔT) порівняно з реакцією P → β + α* + Al_α, за якою утворюється α*-фаза. Тому евтектичне перетворення, за яким формується фаза α*, придушується.

При зменшенні швидкості охолодження в рідко-твердому стані до 2 °C/c (див. рис. 2) і 0,35 °C/c (див. рис. 3), які реалізуються в промислових умовах при одержанні

випливаючи відповідно в металевому кокілі та піщаній формі, загальні закономірності формування структури по перетину виливків зберігаються при суттєвому збільшенні розміру дендритних комірок Al_α (див. рис. 6, а), кристалів β -фази (див. рис. 7) і об'ємної частки α^* -фази (див. рис. 2, в, ж і 3, в, ж), особливо при швидкості охолодження $0,35$ °C/c. При охолодженні зі швидкістю 2 °C/c зона стовпчастих кристалів суттєво зменшується, а при $0,35$ °C/c практично відсутня.

Незалежно від швидкості охолодження, тенденції зміни і абсолютні значення фактору форми дендритних комірок твердого розчину алюмінію по радіусу виливка близькі, при деякому більш високому ступеню рівності дендритних комірок по перетину виливків, охолоджених зі швидкістю $0,35$ °C/c (див. рис. 4, б). Як і при швидкості охолодження 70 °C/c, у напрямку від поверхні до центру виливка збільшується як розмір кристалів фази β , так і α^* (див. рис. 2 і 3). Загалом, зменшення швидкості охолодження сплаву АК5М2, що містить $0,8$ % заліза, з 70 °C/c до $0,35$ °C/c призводить до збільшення розміру структурних складових (див. рис. 1-3, 6, 7), до перерозподілу об'ємних часток інтерметалідів β і α^* – з деяким збільшенням кількості останньої.

Список літератури

1. Пригунова А.Г. Термодинамічне моделювання і термічна аналіза стопу АК5М2 із $0,8 - 3,3$ % ферума / А.Г. Пригунова, О.А. Щерецький, М.В. Кошелєв, В.Д. Бабюк, Є.А. Жидков // Металофізика та новітні технології. – 2022. - Т 44. - № 5. – С. 671–689.

2. Пригунова А.Г. Вплив заліза на фазові перетворення в сплаві АК5М2 / А.Г. Пригунова, Л.К. Шеневідько, М.В. Кошелєв, В.Д. Бабюк, Є.А. Жидков // ЛИТВО. МЕТАЛУРГІЯ. 2022: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (04-06 жовтня 2022 р., м. Харків-м. Київ) / Під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Харків, НТУ «ХПІ». – 2022.- С. 119-121.