

УДК 621.746.043.3:669.046.516.4:669.715

Доценко Ю. В., Селівьорстов В. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ТИСКУ ТА МОДИФІКУВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ ЗІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al-Si

Створення нових технологій і підвищення механічних і експлуатаційних характеристик литих виробів є актуальною проблемою ливарного виробництва. При безперервно зростаючих вимогах до підвищення якості виливків і необхідності економії матеріалів традиційні технології стають усе менш ефективними. В даний момент представляють інтерес комплексні технології, які сполучають процеси рафінування, модифікування і зовнішніх впливів на метал виливка, що кристалізується.

Ефективним способом підвищення механічних властивостей сплавів є зміна морфології фаз, що кристалізуються, за рахунок затвердіння і модифікування їх у різко нерівноважних умовах [1]. При цьому створюються умови для здрібнювання структурних складових, значного підвищення розчинності у твердому стані, пригнічення росту грубих включень первинних інтерметалідів.

Сплави системи Al-Si використовують в основному, як конструкційні матеріали, тому саме механічні властивості є для них основними показниками якості [2]. Одним із способів підвищення механічних властивостей сплавів системи Al-Si є модифікування. Теоретичні основи модифікування кольорових сплавів викладені в роботах М. В. Мальцева, В. І. Напалкова, Г. Б. Строганова, Б. Б. Гуляєва та ін. При цьому розрізняють 2 роди модифікаторів (по П. А. Ребіндеру) – модифікування тугоплавкими частками (інокуляція) і модифікування поверхнево-активними елементами (лімітація). У першому випадку використовують правило Данилова–Конобаєвського (принцип розмірно-структурної відповідності) і електронну теорію Ламіхова–Самсонова (акцептируючий критерій $1/Nn$) [3–6].

До модифікаторів алюмінію 1-го роду відносять Ti, Zr, V, TiC, TiB₂ та ін.; до модифікаторів алюмінію 2-го роду – B, Sr, Sb, Ba та ін. Вибір модифікаторів для Al-Si сплавів є більш складною задачею, тому що необхідно подрібнити одночасно дендрити Al і Si. Відповідно до теорії синтезу сплавів (по Б. Б. Гуляєву) одним із критеріїв, що характеризують модифікуючу здатність елементів є критерій розподілу в кремнії ряду елементів ($\omega_{Si} = 10^{-3} \div 10^{-4}$) [7]. Відповідно до цього, до модифікаторів Si відносять ряд наступних елементів: Na–K–Ca–Sr–Ba–Cd–Sb–Bi–B–S–P. Розроблено ефективні комплексні модифікатори сплавів системи Al-Si, що включають модифікатори 1 і 2 родів. Аналіз природи сплаву і використання фізико-хімічних критеріїв дозволяє в даний час одержувати високий ефект модифікування при малих і гранично малих добавках елементів (0,1÷0,001 % по мас.) [3].

Існують і фізичні методи впливу, що мають модифікуючий ефект, такі як ультразвукова обробка, температурно-часова обробка, накладення на розплав електромагнітного поля та ін. Великий інтерес викликають процеси пов'язані з застосуванням тиску на метал виливків, що кристалізується. Зокрема, у технологічних схемах лиття з кристалізацією сплавів під тиском (ЛКТ) тиск, що прикладається на розплав у процесі затвердіння, значно впливає на характер кристалізації [8]. Збільшення швидкості охолодження приводить до відповідного росту швидкості кристалізації, що змінюється в результаті впливу тиску при кристалізації на число центрів і швидкість росту зародків. Швидкості охолодження зростають у залежності від габаритів виливків, температурних умов лиття, методу пресування від 2–3 до 10 і більш раз. Підвищення швидкості охолодження кольорових сплавів, заснованих на системах з обмеженою розчинністю, приводить до зміни структури і легування твердого розчину, пов'язаних

з дендритною ліквідацією й утворенням квазіевтектики. На сьогоднішній день мало зведень про використання комбінованих технологій, що впливають на структурні складові металу і тим самим підвищують його службові властивості.

Метою статті є розробка комплексної технології модифікування і газодинамічного впливу на твердіючий розплав алюмінієвого ливарного сплаву системи Al–Si в ливарній формі й аналіз її ефективності.

Дія тиску на кристалізацію сплавів системи Al–Si виявляється не тільки в здрібнюванні структурних складових. Тиск сприяє збільшенню взаємної розчинності компонентів сплавів, а також змінює евтектичну концентрацію сплавів.

Збільшення розчинності компонентів можна пояснити загальмуванням первинної дифузії, що має місце при переході сплаву з рідкого стану у тверде. Для розуміння зсуву евтектичної точки необхідно розглянути зміну діаграми стану під впливом тиску.

На рис. 1 представлена частина діаграми стану Al–Si. Штриховими лініями нанесена діаграма, яка отримана під дією тиску.

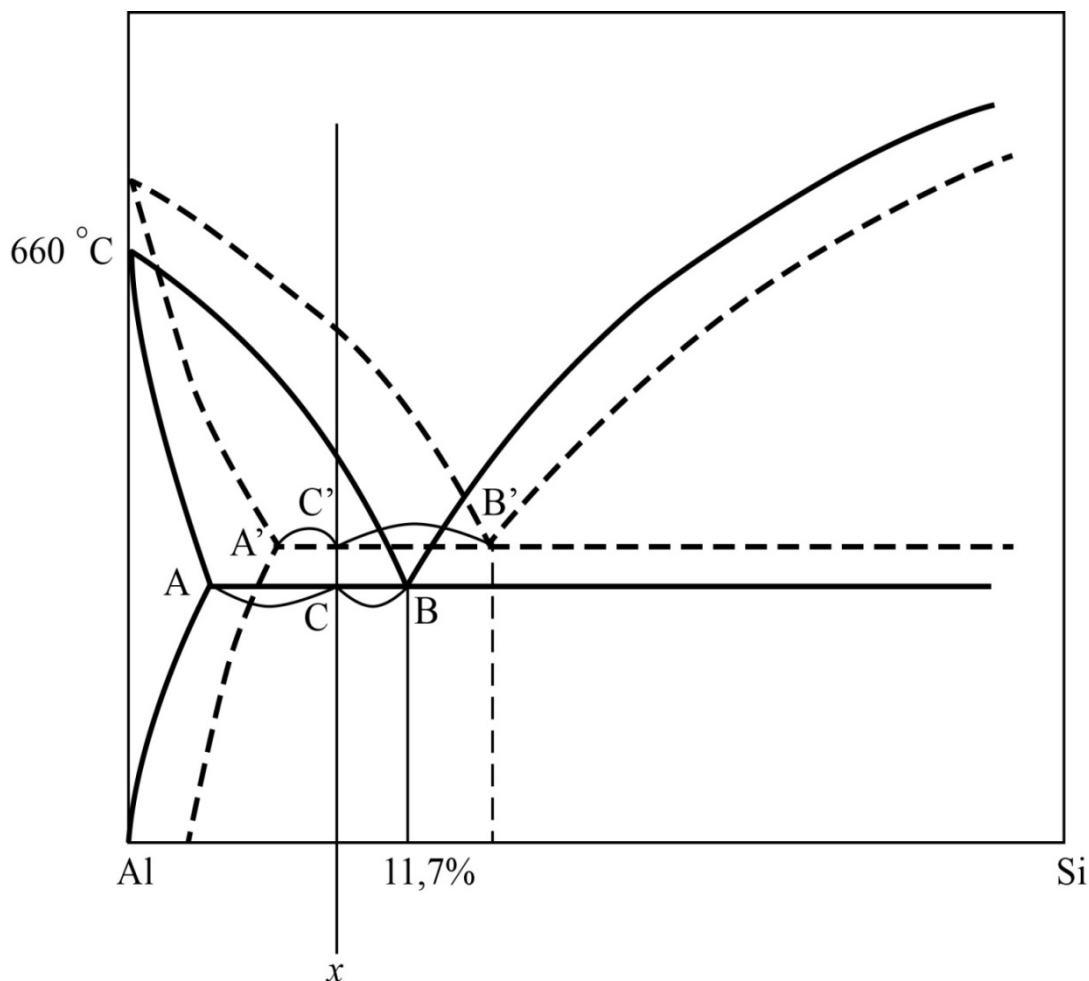


Рис. 1. Зміна діаграми стану Al–Si під дією тиску [9]

Діаграма побудована на підставі розрахунків, виконаних по рівнянню логарифміки розчинності Шредера для бінарних систем [9]:

$$\ln X = \frac{Q_a}{2} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T} \right); \quad (1)$$

$$\ln(1 - X) = \frac{Q_b}{2} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T} \right), \quad (2)$$

де X – мольна концентрація компоненту А; $(1-X)$ – мольна концентрація компоненту В; Q_a – прихована теплота плавлення компоненту А; Q_b – прихована теплота плавлення компоненту В; T_a – температура плавлення компоненту А; T_b – температура плавлення компоненту В; T – поточна температура плавлення.

При розрахунках приймалося, що температура плавлення чистого алюмінію підвищується на $6,3 \times 10^{-3}$ °С на кожен атмосферу тиску, а температура плавлення чистого кремнію відповідно знижується на $5,8 \times 10^{-3}$ °С.

Виконані на підставі цього розрахунки показали, що зсув евтектичної точки для діаграми Al–Si складає 0,003 % на кожен атмосферу тиску. Зсув відбувається у бік кремнію.

На рис. 2 показана зміна положення межових ліній діаграми стану системи Al–Si при модифікуванні натрієм. Під впливом модифікатора склад евтектики зсувається у бік підвищеної концентрації кремнію [10].

Приведені дані показують, що проведення процесу кристалізації під впливом процесів модифікування або тиску приводить до зсувування в область більш високих концентрацій другого компоненту нерівноважних ліквідусу і солідусу з одночасним підвищенням температури евтектики.

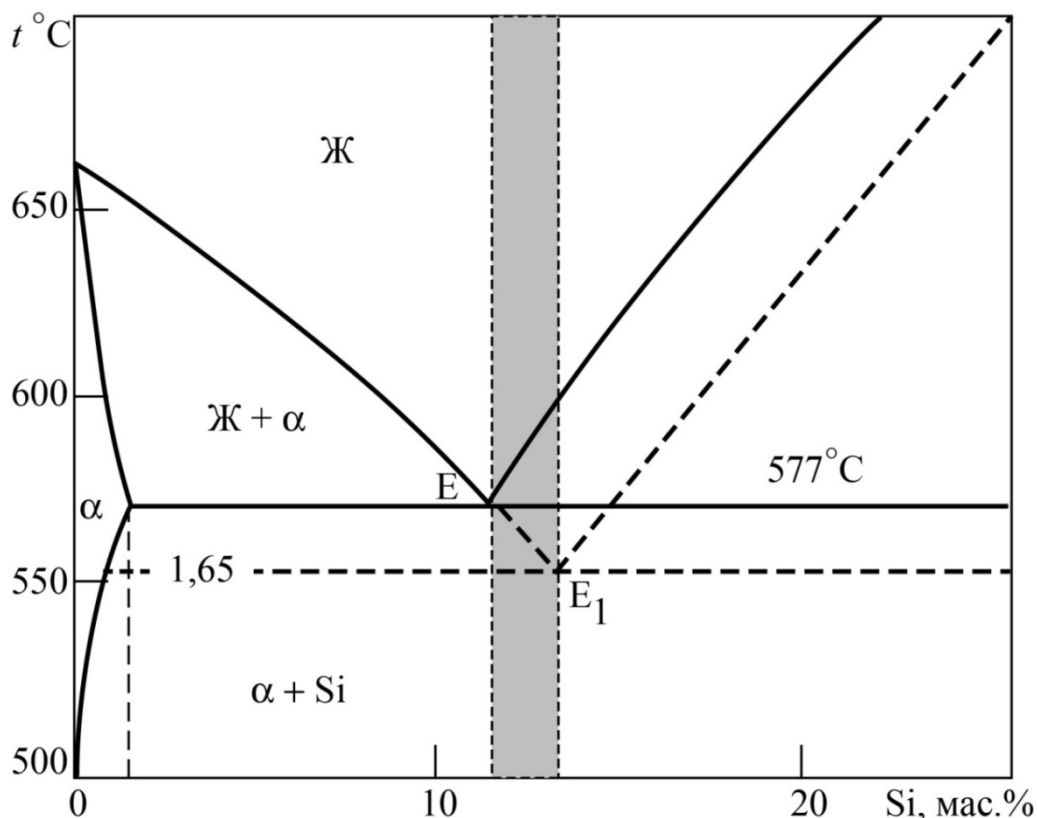


Рис. 2. Зміна положення межових ліній діаграми стану системи Al–Si при модифікуванні натрієм. Суцільні лінії – рівноважна діаграма стану [10]

На кафедрі ливарного виробництва Національної металургійної академії України розроблена технологія газодинамічного впливу на рідкий та кристалізуючий розплав у ливарній формі [11, 12]. Результати лабораторних досліджень і промислових випробувань етапи: проведення рафінування (препарат DEGASAL T 200) і введення модифікатора в розплав (препарат EUTEKTAL T 200), введення в робочу порожнину форми пристрою

для подачі показали підвищення механічних властивостей литого металу і зниження браку по шпаристості при виробництві виливків з алюмінієвих сплавів. Зокрема, при виробництві виливків деталей «Опорний наконечник стійки конвеєра», які виготовляють зі сплаву АК5М способом лиття в кокіль, у порядок технологічних операцій виготовлення вилівка були включені наступні газу оригінальної конструкції, витримка вилівка з пристроєм протягом заданого проміжку часу, подача газу (аргону) з початковими показниками тиску 0,15–0,2 МПа, наступне нарощування тиску до 1–1,1 МПа і витримка під тиском до повного затвердіння вилівка. У результаті впровадження зазначеної технології скоротилася кількість браку виливків по рихлотам і газовим раковинам на 28 %, збільшилися на 25 % пластичні властивості литого металу, на 15–20 % вдалося знизити кількість модифікатора, а також знизити температуру і час обробки.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз літературних джерел за темою роботи показав, що комплексний вплив на метал, що кристалізується, який включає процеси модифікування і накладення тиску є перспективним з погляду підвищення механічних властивостей сплавів системи Al–Si.

2. Проведення процесу кристалізації під впливом модифікування або тиску приводить до зсування в область більш високих концентрацій другого компоненту нерівноважних ліквідусу і солідусу. Варіювання величини тиску при кристалізації і кількості модифікатора приводить до зміни співвідношення фаз у структурі евтектичних сплавів, що впливає на механічні й експлуатаційні властивості виливків.

3. Розроблена комплексна технологія газодинамічного впливу на розплав у ливарній формі і модифікування дозволяє отримати стійкий ефект подрібнювання кристалічної структури, сфероїдації кристалів евтектичного кремнію, зниження макро- і мікрodefектів, і підвищення механічних властивостей литого металу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Немененок Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Б. М. Немененок. – Мн. : Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов : справ. изд. / А. Г. Пригунова, Н. А. Белов, Ю. Н. Таран [и др.] – М. : МИСИС, 1996. – 175 с.
3. Никитин В. И. Наследственность в литых сплавах : монография / В. И. Никитин., К. В. Никитин. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение – 1, 2005. – 476 с.
4. Таран Ю. Н. Структура эвтектических сплавов : монография / Ю. Н. Таран, В. И. Мазур. – М. : Металлургия, 1978. – 312 с.
5. О модифицировании Al–Si сплавов / Г. М. Кимстач [и др.] // Литейное производство. – 1981. – № 10. – С. 7–8.
6. Гаврилин И. В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов: монография / И. В. Гаврилин. – Владимир : ВГУ, 2000. – 260 с.
7. Гуляев Б. Б. Синтез сплавов: монография / Б. Б. Гуляев – М. : Металлургия, 1984. – 160 с.
8. Борисов Г. П. Давление в управлении литейными процессами: монография / Г. П. Борисов. – К. : Наукова думка, 1988. – 271 с.
9. Марков В. В. Вопросы кристаллизации сплавов под высоким давлением / В. В. Марков, А. А. Рыжиков // Теплообмен между отливкой и формой. – Минск : «Вышэйшая школа», 1967. – С. 71–74.
10. Ганиев И. Н. Модифицирование силуминов стронцием: монография / И. Н. Ганиев, П. А. Пархутик, А. В. Вахобов, И. Ю. Куприянова; Под ред. К. В. Горелова. – Мн. : Наука и техника, 1985. – 143 с.
11. Декларацийний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В. Ю., Хричиков В. Є., Доценко Ю. В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
12. Декларацийний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Пристрій для отримання виливків/ Селівьорстов В. Ю., Хричиков В. Є., Доценко Ю. В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.