

УДК 621.746.043.3:669.046.516.4:669.715

Д-р техн. наук В. Ю. Селівьорстов, канд. техн. наук Ю. В. Доценко, Н. В. Доценко
Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ Al-Si

Наведені результати аналітичних та експериментальних досліджень ефективності спільного використання процесів впливу тиску і модифікування на кристалізацію сплавів системи Al-Si. Показано, що комплексний вплив на метал, що кристалізується, який включає процеси модифікування і накладення тиску, є перспективним з погляду підвищення механічних властивостей сплавів. Розроблена комплексна технологія дозволяє отримати стійкий ефект подрібнювання кристалічної структури, сфероїдизувати кристали евтектичного кремнію, знизити макро- і мікродфекти, і підвищити механічні властивості литого металу.

Ключові слова: модифікування, кристалізація, тиск, механічні властивості, технологія.

Вступ

Створення нових технологій і підвищення механічних та експлуатаційних характеристик литих виробів, у тому числі із вторинних шихтових матеріалів, є актуальною проблемою ливарного виробництва. За безперервно зростаючими вимогами до підвищення якості виливків і необхідності економії матеріалів традиційні технології стають усе менш ефективними. На сьогодні становлять 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 здібнювання структурних складових, значного підвищення розчинності у твердому стані, пригнічення росту грубих включень первинних інтерметалідів.

Аналіз попередніх публікацій

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 (за П. А. Ребіндером) – модифікування тугоплавкими частками (інокуляція) і модифікування поверхнево-активними елементами (лімітація). У першому випадку використовують правило Данилова-Кобнаєвського (принцип розмірно-структурної відповідності) і електронну теорію Ламіхова-Самсонова (акцептирувальний 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 (за Б. Б. Гуляєвим) одним із критеріїв, що характеризують модифікувальну 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 таких 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 цей 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 модифікувальний ефект, такі як ультразвукове оброблення, температурно-часове оброблення, накладення на розплави електромагнітного поля та ін. Великий інтерес викликають процеси, пов'язані із застосуванням тиску на метал виливків, що кристалізується. Зокрема, в 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 більше разів. 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 сьо-

годнішній день мало зведень про використання комбінованих технологій, що впливають на структурні складові металу і тим самим підвищують його службові властивості.

Тому 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.

Основний матеріал

Дія тиску на кристалізацію сплавів системи Al-Si виявляється не тільки у 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 твердий. Для розуміння зсуву евтектичної точки необхідно розглянути зміну діаграми стану під впливом тиску.

На рисунку 1 представлена частина діаграми стану Al-Si. Штриховими лініями нанесена діаграма, яка отримана під дією тиску. Діаграма побудована на підставі розрахунків, виконаних за рівнянням логарифміки розчинності Шредера для бінарних систем [9]:

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

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 $6,3 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$ на кожну атмосферу тиску, а температура плавлення чистого кремнію відповідно знижується на $5,8 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Виконані на підставі цього розрахунки показали, що зсув евтектичної точки для діаграми Al-Si становить 0,003 % на кожну атмосферу тиску. Зсув відбувається убік кремнію.

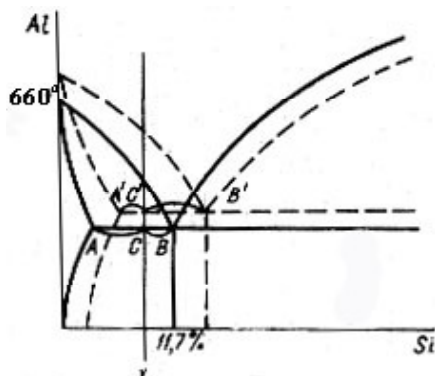


Рис. 1. Зміна діаграми стану Al-Si під дією тиску [9]

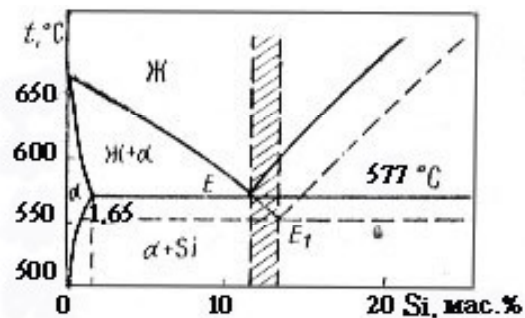


Рис. 2. Зміна положення межових ліній діаграми стану системи Al-Si при модифікуванні натрієм. Суцільні лінії – рівноважна діаграма стану [10]

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

На кафедрі ливарного виробництва Національної металургійної академії України розроблена технологія газодинамічного впливу на рідкий та такий, що кристалізується розплав у ливарній формі [11, 12]. Результати лабораторних досліджень і промислових випробувань 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 такі етапи: проведення рафінування (препарат DEGASAL T 200) і введення модифікатора в розплав (препарат EUTEKTAL T 200), введення в робочу порожнину форми пристрою для подання газу оригінальної конструкції, витримка вилівка з пристроєм протягом заданого проміжку часу, подання газу (аргону) з початковими показниками тиску 0,15–0,2 МПа, наступне нарощування тиску до 1–1,1 МПа і витримання під тиском до повного затвердіння вилівка. У результаті впровадження зазначеної технології скоротилася кількість браку виливків по рихлотах і газових раковинах на 28 %, збільшилися на 25 % пластичні властивості литого металу, на 15–20 % вдалося знизити кількість модифікатора, а також знизити температуру і час оброблення.

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 зсувування в зону більш високих концентрацій другого компоненту нерівноважних ліквідусу і солідусу. Варіювання вели-

чини 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, сфероїдизації кристалів евтектичного кремнію, зниження макро- і мікродефектів і підвищення механічних властивостей литого металу.

Список 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. / [Пригунова А. Г., Белов Н. А., Таран Ю. Н. и др.]. – М. : МИСИС, 1996. – 175 с.
3. Наследственность в литых сплавах: монография / Никитин В. И., Никитин К. В. ; Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2005. – 476 с.
4. Структура эвтектических сплавов: монография / Таран Ю. Н., Мазур В. И. – М. : Металлургия, 1978. – 312 с.
5. О модифицировании Al-Si сплавов / [Кимстач Г. М., Муховецкий Ю. П., Борисов В.Д. и др.] // Литейное производство. – 1981. – № 10. – С. 7–8.
6. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов : монография / Гаврилин И. В. – Владимир : ВГУ, 2000. – 260 с.
7. Синтез сплавов : монография / Гуляев Б. Б. – М. : Металлургия, 1984. – 160 с.
8. Давление в управлении литейными процессами : монография / Борисов Г. П. – К. : Наукова думка, 1988. – 271 с.
9. 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. Модифицирование силуминов стронцием : монография / И.Н. Ганиев, П.А. Пархутик, А.В. Вахобов и др. – Мн. Наука и техника, 1985. – 143 с.
11. Декларацийний патент, Україна МПК (2006) B22D 18/00 Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В. Ю., Хричиков В. С., 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. С., Доценко Ю. В. № 28859 ; заявл. 03.08.2007 ; опубл. 25.12.2007 ; Бюл. № 21.

Одержано 09.12.2016

Селиверстов В.Ю., Доценко Ю.В., Доценко Н.В. Перспективы использования комплексных технологических решений для повышения механических свойств литейных сплавов Al-Si

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований эффективности совместного использования процессов воздействия давления и модифицирования на кристаллизацию сплавов системы Al-Si. Показано, что комплексное воздействие на кристаллизующийся металл, которое включает в себя процессы модифицирования и наложение давления, является перспективным с точки зрения повышения механических свойств сплавов. Разработана комплексная технология, которая позволяет получить стойкий эффект измельчения кристаллической структуры, сфероидизировать кристаллы эвтектического кремния, снизить макро- и микродефекты и повысить механические свойства литого металла.

Ключевые слова: модифицирование, кристаллизация, давление, механические свойства, технология.

Seliverstov V., Dotsenko Yu., Dotsenko N. Prospects for application of integrated technology solutions for improving the mechanical properties of casting Al-Si alloys

Results of analytical and experimental researches of application efficiency of the action of pressure and modification on the crystallization of alloys of Al-Si system are given. It is shown that the complex effect on the crystallized metal, which includes the processes of modification and the imposition of pressure is perspective from the point of view of increase of mechanical properties of alloys. Integrated technology was developed, which enables achievement prolonged effect of grinding crystal structure, spheroidizing eutectic silicon crystals, reduce macro- and micro defects, and increase the mechanical properties of cast metal.

Key words: modification, crystallization, pressure, mechanical properties, technology.