

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СУЧАСНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ ЗІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al-Si

Доценко Ю.В., Селівьорстов В.Ю., Доценко Н.В., Дмитренко О.І., Тоцька А.І.
Національна металургійна академія України

Приведені результати аналітичних та експериментальних досліджень ефективності спільного використання процесів впливу тиску і модифікування на кристалізацію сплавів системи Al-Si. Проаналізована діаграма стану Al-Si після модифікування. 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 мікродфектів. Технологія дозволяє підвищити механічні властивості литого металу.
Ключові слова: кристалізація, модифікування, газодинамічний вплив, виливок, технологія, механічні властивості.

Постановка проблеми. 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 вилівка, 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 здрибнювання 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 (по П.А. Ребіндеру) – модифікування тупоплавкими 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.

Ціль досліджень – 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 в здрибнюванні 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 рисунку 1 представлена частина діаграми стану Al-Si. Штриховими лініями нанесена діаграма, яка отримана під дією тиску. 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 кожну 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 кожну атмосферу тиску. Зсув відбувається убік кремнію.

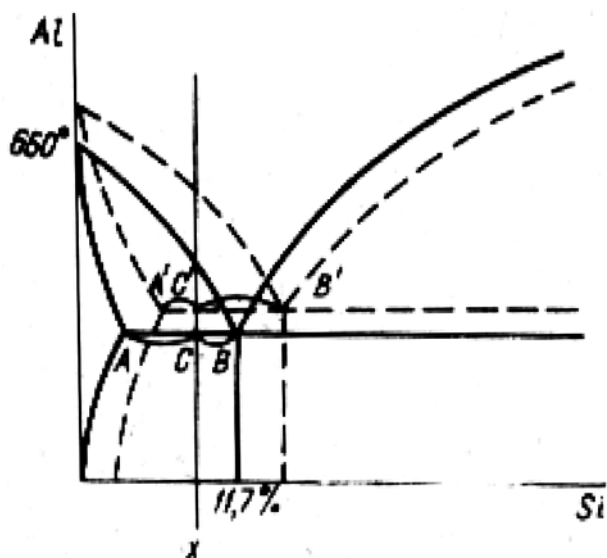


Рис. 1. Зміна діаграми стану Al-Si під дією тиску [9]

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

Приведені дані показують, що проведення процесу кристалізації під впливом процесів модифікування або тиску приводить до зсування в область 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 кристалізуючий 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 виливка були включені наступні етапи: проведення рафінування (препарат DEGASAL T 200) і введення модифікатора в розплав (препарат EUTEKTAL T 200), введення в робочу порожнину форми пристрою для подачі газу оригінальної конструкції, витримка виливка 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 виливка. 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.

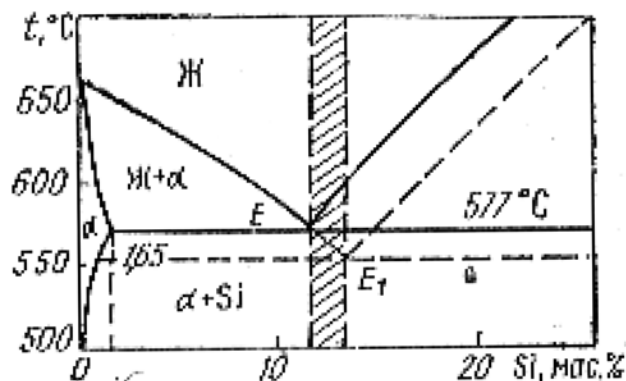


Рис. 2. Зміна положення межових ліній діаграми стану системи Al-Si при модифікуванні натрієм. Суцільні лінії – рівноважна діаграма стану [10]

Висновки.

1. Проведений аналіз літературних джерел по темі 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, сфероїдизації кристалів евтектичного кремнію, зниження макро- і мікрodefектів, і підвищення механічних властивостей литого металу.

Список літератури:

1. Немененко Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Б.М. Немененко. – Мн.: Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Силумины. Атлас микроструктур и фактограмм 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 – 1, 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.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.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.

Доценко Ю.В., Селиверстов В.Ю., Доценко Н.В., Дмитренко О.И., Тоцкая А.И.
Национальная металлургическая академия Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-SI

Аннотация

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований эффективности совместного использования процессов воздействия давления и модифицирования на кристаллизацию сплавов системы Al-Si. Проанализирована диаграмма состояния Al-Si после модифицирования. 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. Технология позволяет повысить механические свойства литого металла.

Ключевые слова: кристаллизация, модифицирование, газодинамическое воздействие, отливка, технология, механические свойства.

Dotsenko Y.V., Selivorstov V.Y., Dotsenko N.V., Totska A.I., Dmytrenko O.I.
National Metallurgical Academy of Ukraine

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF MODERN COMPLEX TECHNOLOGY ON THE PROPERTIES OF CASTINGS FROM THE ALLOYS OF THE SYSTEM AL-SI

Summary

Results of analytical and experimental researches of efficiency of joint use of the effect of pressure and modification on the crystallization of alloys of Al-Si system. The diagram of the state of Al-Si after modification is analyzed. It is shown that the complex effect on the crystallized metal, which includes the processes of modification and the application of pressure, is perspective from the point of view of increase of mechanical properties of alloys. An integrated technology, which enables to obtain a lasting effect of grinding of crystal structure, spheroidize crystals of eutectic silicon, reduce macro and micro defects and increase the mechanical properties of cast metal. The technology allows improving the mechanical properties of the cast metal.

Keywords: solidification, modification, gas-dynamic effects, casting, technology, mechanical properties.