

3. Белик В.И. Использование оптической компьютерной мыши в качестве датчика перемещения / В.И. Белик, Л.К. Шеневидько // Процессы литья. – 2012. - №2. - С. 45-50.

УДК 621.74:669.018.28:620.178.15

А. Г. Борисов

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

www.rogneda@ukr.net

ДЕНДРИТНА ТА РОЗЕТКОВА МОРФОЛОГІЯ ПЕРВИННОЇ ФАЗИ ПРИ ЛИТТІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ У МЕТАЛЕВИЙ КОКІЛЬ

Останнім часом в ливарному виробництві алюмінієвих сплавів відбувається поступовий перехід від заливання ливарних форм перегрітим алюмінієвим розплавом до лиття сплаву в рідко-твердому стані [1-2]. Головною ідеєю технологій лиття частково закристалізованих сплавів є транспортування у порожнину форми разом з расплавом певної кількості твердої фази, морфологія якої значним чином впливає як на процеси заповнення, так і подальшого твердіння. При цьому відзначається, що найбільш перспективним в практичному плані є використання рідко-твердої суміші, де кристалічна фаза має недендритну, розеткову та/або глобулярну морфологію [1], яка формується за певних умов.

Переважає більшість методів отримання недендритної морфології, які розвиваються протягом вже 30 років, базується на перемішуванні розплаву у частково закристалізованому стані [3], що вимагає спеціального обладнання як для перемішування, так і температурної стабілізації. Однак останнім часом з'явилися публікації, в яких повідомляється про можливість отримання такої морфології без перемішування шляхом безпосередньої заливки розплаву до металевих кокілів [4]. Зрозуміло, що принципово такий підхід є найбільш вигідним з економічної точки зору. Проте систематичного дослідження таких процесів не було проведено, таким чином однією з цілей даної роботи було проведення досліджень в широкому інтервалі зміни ливарних параметрів для встановлення області їх значень, в якій формується недендритна структура.

Стосовно широкого практичного використання такого методу було б бажаним замість «області значень» кількох технологічних параметрів отримати один «універсальний» критерій формування недендритної структури. Наприклад виходячи з того, що

швидкість охолодження суттєво впливає на литу структуру сплавів, зокрема на розмір зерна та величину дендритного параметру [5], доцільно припустити, що і для реалізації розеткової або глобулярної структури вона може бути визначальним фактором. Таким чином другою ціллю роботи було вивчення зв'язку особливостей морфології з швидкістю охолодження сплаву при кристалізації.

З огляду на широке промислове використання (диски коліс, блоки автодвигунів тощо) в якості об'єкту дослідження використано сплав АК7ч (типа А356) складу Al - 7,5% Si; 0,29%Mg; 0,12%Fe; 0,028 Mn; 0,005%Cu; 0,0015% Ti (аналог за світовою класифікацією - сплав А356), який контролювався спектральним аналізом. Температура ліквідус для кожної серії експериментів визначалась незалежно за методом термічного аналізу [6] і для усіх експериментів складала 616 ± 1 °C.

Сплав плавився в печі САТ-05 в графіто-шамотном тиглі. Температура розплаву контролювалася вимірювачем-регулятором температури з точністю ± 3 °C. Паралельно у муфельній печі із заданою температурою (± 5 °C) розміщувався сталевий кокіль. Після досягнення температури заливки розплав витримували 20 хвилин, після цього кокіль виймався з печі та здійснювалась його заливка. Криві охолодження фіксувалися за методикою, описаною в [6].

Структура виливків досліджувалась на шліфах, які були зроблені на повздовжніх розрізах зразків. Шліфи були протравлені реактивом Келлера (0,5 мл HF; 2,5 мл HNO₃; 1,5 мл HCl; 100 мл H₂O).

При аналізі мікроструктур визначалися відстань між бічними гілками дендритів та відстань між «пелюстками» розеток (див. далі) α -Al, при цьому здійснювалось усереднення по всій площі шліфу, а потім – по всім зразкам з даними умовами заливки (не менше двох зразків).

Експерименти проведені при заливці сплаву у циліндричні сталеві кокілі з товщиною стінки 2, 4, 6 та 10 мм. Температури заливки для кожного з кокілів були 620, 630, 660, 750, 850 та 950 °C, а температури кокілів були 20, 220, 400, та 580 °C. Загалом було проведено 96 експериментів.

Отримані мікроструктури були класифіковані як дендритні та недендритні. Побудована загальну таблицю умов заливки та структур, що їм відповідали. Встановлено, що існують три області умов, яким відповідають «чисто недендритна» морфологія, «чисто дендритна» та змішана. В таблиці 1 наведено частину загальної таблиці, яка охоплює область умов, де відбувається «перехід» від недендритної до дендритної структури, які позначені відповідно «н» та «Д».

Таблиця 1

Морфологія структури виливків в залежності від умов заливки

Т заливки °С	Т кокілю °С	Товщина стінки кокілю, мм			
		2	4	6	10
620	20	н	н	н	н
620	220	н	н	н	н
620	400	н	н	Д	Д
620	580	н	Д	н	н
630	20	н	н	н	н
630	220	н	н	н	н
630	400	н	н	н	Д
630	580	н	Д	Д	Д
660	20	н	Д	Д	Д
660	220	Д	Д	Д	Д
660	400	н	Д	Д	Д
660	580	Д	Д	Д	Д
750	20	Д	Д	Д	Д
.....
950	580	Д	Д	Д	Д

Примітка: Д – дендритна структура, н – недендритна структура

Умовні температури «переходу» (від дендритної до недендритної морфології) в залежності від температури кокілю для різної товщини його стінок показані на рис. 1. Значення цих температур визначені як середнє значення інтервалу «переходу». Так, наприклад, якщо розглянути точку, позначену стрілкою - для товщини кокілю 2 мм та температури кокілю 400 °С при заливці від 750 °С (верхня межа інтервалу «переходу») реалізувалася дендритна структура, а при заливці від 660 °С (нижня межа інтервалу «переходу»)- недендритна структура.

Згідно отриманим нами даним «перехід» від дендритної до недендритної морфології здійснюється не стрибком, а через певне «виродження» дендритів, тому принципово не можливо вказати якусь точну температуру «переходу», але для наочності середнє арифметичне інтервалу «переходу» умовно позначено точкою, і ці точки для однієї товщині стінок кокілю з'єднані пунктиром. Як видно з малюнку, «температура

переходу» при інших незмінних параметрах збільшується зі зменшенням товщини стінок кокілю.

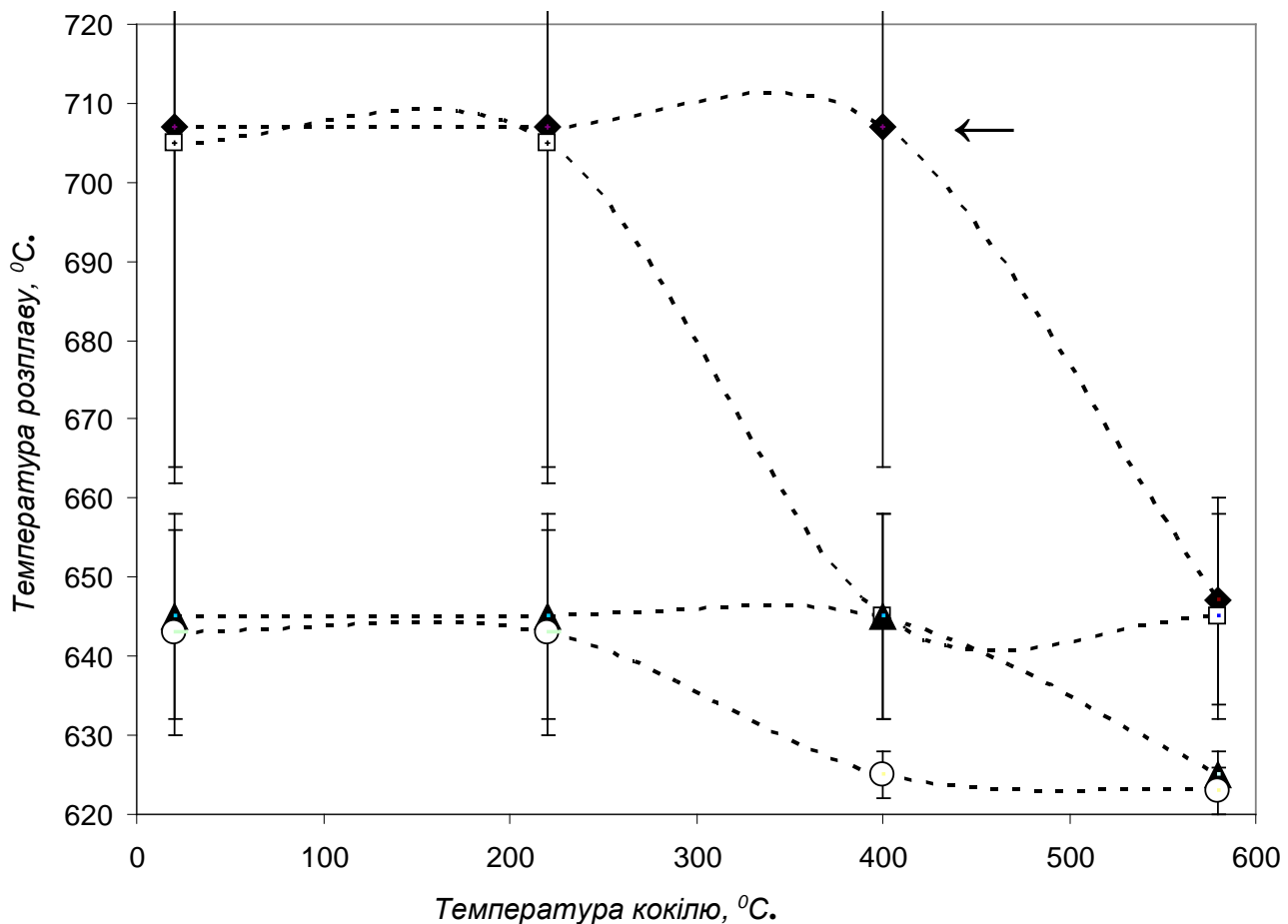


Рис. 1. Перехід від дендритної до недендритної структури сплаву залежно від температурних умов кристалізації. Товщина стінок кокілю, мм : ◆- 2, ■- 4, ▲- 6, ●- 10.

Як витікає з таблиці та рис. 1, найбільш сприятливими умовами для формування недендритної структури були мінімальна температура заливки, мінімальна температура та товщина стінки кокілю.

Макроскопічна швидкість охолодження визначалася традиційно як $V = (T_L - T_E)/(t_L - t_E)$, де T_L та T_E відповідно температури ліквідуса та евтектики, а t_L та t_E – моменти часу досягнення цих температур.

Відзначимо, що дендритні та недендритні структури спостерігалися практично в одному інтервалі швидкостей охолодження - 0,5 – 18°C/сек та 1,5 – 21°C/сек відповідно. Виходячи з цього можливо зробити висновок, що швидкість охолодження не є критичним параметром, що визначає, який саме характер буде мати результуюча структура- дендритний чи недендритний, а отже існують інші визначальні фактори.

Збільшення швидкості охолодження призводить до загальновідомого зменшення дендритного параметру. Традиційно залежність дендритного параметру від швидкості охолодження описується відомими емпіричними залежностями [5] типу

$$d = AV^{-n} \quad \text{або} \quad \lg d = \lg A + n \lg V \quad (1)$$

Отримані нами дендритні структури у вказаному вище форматі описуються залежністю

$$d = 36V^{-0,3} \quad \text{або} \quad \lg d = 1,5 - 0,3 \lg V \quad (2)$$

Що стосується розеткових структур, то для їх характеристики було введено «розетковий параметр» d^* , який являє собою відстань між суміжними «пелюстками» в розетці. З формальної точки зору, якщо розрізати контур розетки та розвести його кінці, ми отримуємо картину, схожу з бічними гілками дендриту, які також є певними збуреннями на поверхні кристалу, що росте. Аналогічно дендритному параметру, залежність розеткового параметру від швидкості охолодження була проаналізована у форматі рівнянь (1). Було встановлено, що експериментальні дані для розеток можливо описати у цьому форматі і були отримані наступні залежності:

$$d^* = 48V^{-0,26} \quad \text{або} \quad \lg d^* = 1,67 - 0,26 \lg V \quad (3)$$

Висновки

1. Найбільш сприятливими умовами для формування недендритної морфології при наших експериментальних умовах були мінімальна температура заливки, мінімальна температура та товщина стінки кокілю.

2. Швидкість охолодження не є критичним параметром, що визначає, який саме характер буде мати результуюча структура - дендритний чи недендритний, а отже існують інші визначальні фактори.

3. Залежність розеткового параметру від швидкості охолодження має такий же характер, як і для дендритного параметру, при цьому відповідні криві майже співпадають. Це можна трактувати як свідчення того, що формування дендритних і не дендритних структур має схожу природу.

Література

1. *Flemings, M.C.* Semi-solid forming- the process and the path forward // Metallurgical Science and Technology. – 2000. - No 2. - P. 3-4.
2. *Kirkwood, D.H.* Semisolid metal processing // International Materials Reviews. – 1994. - No. 5. - P. 173-189.
3. *Fan, Z.* Semisolid metal processing» // International Materials Reviews. – 2002. - No. 2. - P. 49-85.
4. *Browne, D.J. Hussey, M.J. Carr, A.J. Brabazon D.* Direct thermal method: new process for development of globular alloy microstructure // International Journal of Cast Metals Research. – 2003. - No. 4.- P. 418-426.
5. *Золотаревский В.С.* Структура и прочность литых алюминиевых сплавов // МЕТАЛЛУРГИЯ, Москва. -1981.- С. 192
6. *Смульский, А.А. Семенченко, А.И. Елов, С.М.* Термический анализ алюминиевых сплавов» // Процессы литья. - 2002. - №1. - С. 10-16.

УДК 669.131.7:669.15:546.28

**В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинський, О. П. Нестерук, В. О. Овсянников,
Н. П. Моїсеєва, С. М. Медвідь**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

otdel.vch@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЛЕГОВАНОГО НІКЕЛЕМ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ВЧ700 З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ ПЛАСТИЧНОСТІ

Рівень технологій отримання виробів із високоміцного чавуну базується на стабільності металургійної якості розплаву від плавки до плавки. Одним з головних факторів, який багато в чому визначає механічні та експлуатаційні властивості високоміцного чавуну, є шихтові матеріали з вмістом сірки менше 0,015 %, фосфору менше 0,05 %, марганцю менше 0,3 %. При цьому поряд з чушковими чавунами, що мають низькі масові частки сірки, фосфору та марганцю, широко застосовуються рафіновані від домішок та газів чавуни. В Україні створені і виготовляються рафіновані магнієм