

В. І. Бєлік, Т. Г. Цир, В. М. Дука

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

e-mail: belikv@ukr.net

ПЕРЕМІШУВАННЯ РОЗПЛАВУ ЯК НЕОБХІДНИЙ ЕЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО ТЕРМІЧНОГО МЕТОДУ (DTM)

У даний час у ливарному виробництві широко використовується метод реолиття, що забезпечує високі властивості виробів. Він заснований на ефекті зниження зусиль пресування розплаву в твердо-рідкому стані у разі формування в ньому глобулярної форми кристалів твердого розчину алюмінію (α -фази). Найбільш технологічним простим методом отримання такої структури є так званий прямий термічний метод, DTM [1]. Він полягає в тому, що розплав з малим перегрівом виливають у форму з великою теплопровідністю та малою теплоємністю. При цьому розплав швидко охолоджується до температури початку формування двофазної зони. Потім за умов, близьких до ізотермічних, витримується до утворення необхідного об'єму твердої фази, після чого проводять загартування заготовки. Отримання глобулів із середнім розміром менше 100 мкм вважається хорошим результатом.

Згідно з [1] механізм отримання глобулярної структури полягає в тому, що висока швидкість охолодження при знятті перегріву сприяє масовому зародженню кристалів, а зниження температури розплаву - їх «виживанню», тобто кристали, що зародилися, не розплавляються під дією тепла розплаву. Дендритний розвиток кристала може бути пригнічений (формується глобулярна структура), якщо кількість зерен в одиниці об'єму досить висока для даної швидкості охолодження [2]. Тобто формуванню дендритної структури сприяє збільшення кількості зародків і зниження швидкості їх зростання.

Вирішальною умовою формування глобулярної структури у виливку при здійсненні прямого термічного методу є двоетапне затвердіння: з великою інтенсивністю охолодження на першому етапі і з малою на другому. Інтенсивне охолодження розплаву на першому етапі досягається його низьким перегрівом. Це сприяє як процесу масового зародження кристалів внаслідок високого переохолодження, так і їх подальшому «виживанню», оскільки температура розплаву після заливання знижується до

температури ліквідус сплаву. Використання форми з високою теплопровідністю і малою теплоємністю забезпечує повільне охолодження розплаву на другому етапі, тобто низьку швидкість зростання глобулів, що необхідно для запобігання розвитку дендритної кристалізації.

Таким чином, прийнято вважати, що теплові умови тверднення вилівка є визначальними при здійсненні прямого термічного методу.

Аналізуючи особливості інших методів отримання глобулярної структури, таких як заливання розплаву у форму по похилій охолоджувальній поверхні [3], продування розплаву газом через дифузор, що охолоджує розплав (GISS – метод) [4, 5], електромагнітне перемішування розплаву з зануреним у нього стрижнем з графіту [6] або міді [7], механічне перемішування стрижнем, що обертається та охолоджує розплав [2], або спеціальними пристроями (наприклад, двошнековою мішалкою) [8], можна відзначити, що при реалізації цих методів, як і в прямому термічному методу, приділяється увага тепловим умовам. У кожному випадку має місце спеціально створений рух потоків розплаву щодо поверхні, яка охолоджує розплав, на якій і відбувається утворення зародків кристалізації з наступним їх поширенням на увесь обсяг розплаву. Причиною того, що в роботах, присвячених прямому термічному методу, цьому механізму та його ролі у формуванні недендритної структури увага не приділяється, може бути те, що заливка розплаву у форму є необхідною технологічною складовою даного методу. Переміщення розплаву щодо охолоджуючої поверхні форми, що виникає при цьому, є природним побічним явищем заливання, тобто не створюється спеціально, але має місце завжди, за будь-яких теплових умов отримання заготовки, і тому окремо не досліджувалося.

У цій роботі досліджено значимість перемішування у процесі утворення зародків кристалів та їх розповсюдження як супутнього технологічного фактора при реалізації прямого термічного методу.

Експерименти проведено на сплаві АК7пч з використанням тонкостінної (0,4 мм) форми з нержавіючої сталі у вигляді конуса ємністю 175 см³, висотою 82,5 мм і діаметрами 56,2 і 47,4 мм. Застосування тонкостінної форми дало можливість швидкої та регульованої зміни інтенсивності тепловідведення в ході тверднення вилівка за рахунок зміни охолоджувального середовища, і тим самим спростило забезпечення необхідних теплових умов, а саме двоетапного тверднення заготовки. Висока інтенсивність охолодження (перший етап) досягалася використанням води як охолоджувального середовища, низька (другий етап) – забезпечувалася поміщенням форми в ємність, утеплену мінеральною ватою.

Для відтворення технології прямого термічного методу форму з встановленою в нею для контролю процесу затвердіння заготовки термопарою опускали в ємність з водою так, що над водою залишалось 10-15 мм тіла форми і заливали розплав, охолоджений в заливному ковші від температури витримки (720 °С...740 °С) до температури, що перебільшувала температуру ліквідус даного сплаву на кілька градусів. Безпосередньо після закінчення заливки, тривалість якої становила 1-2 с перший етап завершували, форму виймали з води і поміщали в утеплену ємність для проведення другого етапу. Після охолодження заготовки до температури 577 °С, (при якій тверділо 40 % α -фази), її загартовували у воді для фіксації структури. В цьому випадку була отримана глобулярна форма α -фази з розміром глобулів 52...58 мм.

У досліджах, що виключали процес перемішування струменем розплаву, який заливається, теплові умови попереднього експерименту були повністю відтворені, але заповнення форми розплавом проводили на повітрі, де і відбувалося охолодження розплаву від температури (720 °С...740 °С) до заданої, і перший етап починався після занурення заповненої форми в воду. Відсутність перемішування при цьому унеможливлювала переміщення розплаву щодо охолоджуючої поверхні (стінок форми) в період масового зародження кристалів. У результаті в заготовці формувалася дендритна структура з розміром дендритів 2900 ... 4500 мкм. Вона практично не відрізнялася від структури звичайних виливків, отриманих у тій же формі, але при твердінні в один етап, тобто на повітрі або у воді, за винятком того, що в останньому випадку дендритний параметр був значно меншим.

У наступному експерименті, проведеному в тих же теплових умовах, після занурення кокілю, заповненого розплавом, у воду, розплав протягом 3 ... 4 с був перемішаний попередньо нагрітою механічною мішалкою пропелерного типу. Внаслідок цього утворилася глобулярна структура з такими ж розмірами глобулів, як і в першому експерименті, тобто в звичайних умовах здійснення прямого термічного методу. Це доводить, що позитивний вплив перемішування розплаву на формування недендритної структури досягається при будь-якому способі перемішування, як струменем розплаву при заливці, так і з використанням мішалки.

Таким чином, встановлено, що відсутність перемішування при повному дотриманні теплових умов здійснення прямого термічного методу (двоетапне затвердіння з високою і низькою інтенсивністю охолодження) призводить до формування дендритної структури. Необхідною умовою формування глобулярної структури є (як і в наведених вище методах [3 - 9] реолиття) не тільки двоетапне затвердіння, а і переміщення

розплаву щодо охолоджувальної поверхні, роль якого полягає у поширенні зародків, що утворилися поблизу охолоджуючих поверхонь, по всьому обсягу виливка.

Отримані результати можуть бути використані при розробці відповідних технологій і реалізації процесу в промислових умовах. При цьому на увагу заслуговує процес заливання, особливості якого (зокрема - інтенсивність викликаного ним перемішування) істотно впливають на формування необхідної структури.

Список литературы

1. Browne D.J. Direct thermal method: new process for development of globular alloy microstructure / D.J. Browne, M.J. Hussey, A.J. Carr, D. Brabazon // International Journal of Cast Metals Research.- 2003. - Vol. 16. - No. 4. – P. 418–426.

2. Martinez R.A. Evolution of particle morphology in semisolid processing / R.A. Martinez, M.C. Flemings // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2005, – **36**. – № 8. – P. 2205-2210.

3. Motegi T. New semi-solid casting of copper alloys using an inclined cooling plate / T. Motegi, F. Tanabe // The 8th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites. Limassol, Cyprus, 2004. – P. 156-160.

4. Canyook R. Evolution of microstructure in semi-solid slurries of rheocast aluminum alloy / R. Canyook, S. Petsut, S. Wisutmethangoon, M.C. Flemings, J. Wannasin // Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20(2010). - P.1649–1655.

5. Wannasin J. Evaluation of solid fraction in a rheocast aluminum die casting alloy by a rapid quenching method / J. Wannasin, R. Canyook, R. Burapa, M.C. Flemings // Scripta Materialia. – 2008. - **59**.- P 1091–1094.

6. Guanglei ZHU. Annular electromagnetic stirring|a new method for the production of semi-solid A357 aluminum alloy slurry / ZHU Guanglei, XU Jun, ZHANG Zhifeng, BAI Yuelong, SHI Likai // Acta Metall. Sin.(Engl. Lett.). - December 2009. - Vol. 22. - No.6. – P. 408-414.

7. Zheng LIU. Effect of local chilling on morphology of primary α (Al) in semi-solid A356 alloy / LIU Zheng, MAO Wei-min, ZHAO Zhen-duo // Al/Trans. Nonferrous Met. Soc. China. - November 2008.-18.- №3.- P. 573-579.

8. Das A. Morphological development of solidification structures under forced fluid flow: experimental observation / A. Das, Z. Fan // Materials science and technology. – 2003, – **19**. – №. 5. – P. 573-580.

В. І. Бєлік, Л. К. Шеневидько, В. М. Дука, Т. Г. Цир

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: belikv@ukr.net

**ПРО МЕХАНІЗМИ ПОДРІБНЕННЯ ПЕРВИННИХ КРИСТАЛІВ АЛЬФА ФАЗИ
АЛЮМІНІЄВО-КРЕМНІЄВОГО СПЛАВУ, ЩО ТВЕРДНЕ В УМОВАХ ПЕРЕМІШУ-
ВАННЯ**

Переваги процесу реолиття алюмінієво-кремнієвих сплавів перед традиційним ЛПД досягаються за рахунок використання тиксотропних властивостей металевих суспензій, зумовлених глобулярною формою первинних кристалів альфа фази. Згідно з сучасними уявленнями [1] для формування глобулярної структури при кристалізації має бути задіяно настільки велике число зародків, щоб у процесі їх подальшого зростання розмір кристала не досяг критичного радіусу втрати стійкості і зберігав округлу форму. Зрозуміло, що чим більше число кристалів у даному обсязі, тим менший розмір кожного, і все, що призводить до подрібнення зерна, підвищує ймовірність формування глобулярної структури.

Ключовим технологічним моментом, що забезпечує отримання цієї структури в таких технологічних схемах як «реокаст» - процес, SSR-технологія, в установках безперервної дії зі шнековим механізмом транспортування металу є перемішування розплаву в процесі його охолодження та часткового тверднення. У цій роботі розглянуто роль перемішування як чинника подрібнення зерна.

Експерименти проведені на сплаві АК7ч. У процесі затвердіння розплаву масою 25...30 г у кокілї з товщиною стінки 1,5 мм і зовнішнім діаметром 23 мм здійснювали контроль та запис температури за допомогою термопари марки ХА, поміщеної в двоканальну соломку діаметром 3 мм, яку при необхідності перемішування розплаву обертали в розплавї всередині кокілю по колу зі швидкістю 1-2 обороти на секунду. Виливки кристалізувалися при низькій (0,3 °С/с) і високій (6,5 °С/с) швидкостях охолодження, які досягалися охолодженням кокіля на повітрі або у воді. У першому випадку перемішування починали при температурі 625 °С, або при температурі рекалесценції, а при охолодженні у воді відразу після занурення у воду. Мінімальна тривалість перемішування визначалася моментом, коли діаметр зони перемішування, що зменшується на протязі твердіння розплаву, наближався до діаметру соломки. Залежність розміру зерна від тривалості перемішування наведено на рис. 1.