

A. S. Nuradynov, A. S. Eldarkhanov, O. V. Nogovitsyn, Ye. D. Taranov

The influence of vibration on the formation of bloom
continuous casting

Summary

By using model alloy (camphene with tritsiklenom) is studied the effect of vibration on the formation of bloom continuous casting. It is found that the effect of vibration intensify heat transfer processes and hydrodynamic in the crystallizer and in the secondary cooling zone. The relationship of these processes with the formation of the primary structure of the ingots is shown.

УДК 621.74:669.715:551.482.32:539.216:620.186

*Одержання недендритної структури в
алюмінієвому сплаві АК7*

А. М. Недужий

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Показано можливість одержання недендритної структури сплаву АК7 при заповненні ним ливарної форми із застосуванням тонкого металевого жолоба. Розраховані значення критерію Рейнольдса для сплаву на вході та виході з жолоба. Встановлено, що на вході жолоба має місце переважно турбулентний режим потоку сплаву, а на виході – ламінарний. Визначено оптимальні технологічні параметри процесу кристалізації та формування недендритної структури.

На сьогоднішній день в ливарному виробництві існують методи порційного одержання частково закристалізованих алюмінієвих сплавів з недендритною структурою первинної фази. В одному випадку порція заданої маси сплаву з недендритною структурою після приготування відразу використовується для виготовлення вилівка заданої конфігурації [1], а в іншому – для одержання заготовки [2] для подальшого її використання, наприклад в технологіях тиксолиття. Одним з методів одержання заготовок із алюмінієвих сплавів з недендритною структурою первинної фази є заповнення порожнини металеві форми із застосуванням жолоба [3, 4]. Це доволі простий метод, який не потребує складного технологічного устаткування та додаткових витрат електроенергії. Він досить широко використовується, але при цьому в літературі немає конкретних оптимальних значень технологічних параметрів

Науковий керівник роботи, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАНУ Борисов Г.П.

проведення цього процесу, зокрема довжини жолоба та температури заливки сплаву на жолоб. Також, відсутня інформація щодо характеру руху потоку алюмінієвого сплаву по металевому жолобу.

Однією із гіпотез утворення недендритної структури зі сферичними частинками в сплаві Sn – 15Pb є формування такої морфології структури в турбулентному потоці сплаву [5]. Вважають, що при обробці сплаву в такому інтенсивному примусовому потоці з кожного зростаючого кристала змивається дифузійний шар і кристал продовжує рости в округлій формі. Іншою гіпотезою формування недендритної структури фази α -Al в алюмінієвому сплаві є множинне зародкоутворення на початку процесу кристалізації.

Враховуючи вищевказане метою роботи було проведення експериментальних досліджень для встановлення впливу потоку алюмінієвого сплаву, який тече по металевому жолобу на морфологію структури фази α -Al та визначення оптимальних значень довжини жолоба та температури заливки сплаву для одержання заготовок з недендритною структурою первинної фази.

Для досліджень вибрано ливарний алюмінієвий сплав марки АК7. В якості дослідної ливарної форми використовували сталевий кокіль з товщиною стінки форми 5 мм, верхній і нижній внутрішні діаметри – 50 та 40 мм відповідно, висота форми від її дна до верху – 80 мм. За допомогою удосконаленого методу термічного аналізу [6] визначали температури ліквідусу та солідусу досліджуваного сплаву, середні значення яких склали 600,5 °C та 577,5 °C відповідно. Далі, попередньо прогрітим заливальним ковшем із тигля печі відбирали потрібну порцію сплаву. Для контролю температури заливки сплаву в ковші попередньо була встановлена хромель-алюмелева термопара з діаметром дроту 0,3 мм. Після досягнення потрібної температури заливки, сплав починали лити на холодний металевий жолоб з плоским дном, який мав ширину 50 мм, товщину 0,5 – 0,6 мм, та був попередньо покритий спеціальною протипригарною фарбою. Перед заливкою сплаву безпосередньо в місці входу струменя сплаву на жолоб та на виході з нього були встановлені термопари вищезазначеного типу. Після “підстужування” розплаву на жолобі, з іншого його кінця метал у більшості випадків вже частково закристалізований стікав у ливарну форму, де відбувався процес його кристалізації при охолодженні на повітрі. В усіх експериментах кут нахилу жолоба до ливарної форми становив 45°. Під час проведення експериментів змінювали довжину жолоба та температуру заливки сплаву. В якості змінних значень довжини жолоба були прийняті наступні: 100, 200, 300, 400, 500 та 550 мм. Температури заливки сплаву на жолоб становили: 620, 630, 650 та 680 °C. Для всіх варіантів досліджень заливку сплаву проводили в ливарну форму кімнатної температури. При досягненні температури близько 580 °C проводили гартування сплаву у воді.

З одержаних заготовок вагою 200 – 240 г виготовляли темплети для металографічних досліджень. Мікроструктуру сплаву досліджували в центральній частині виливків.

Для встановлення характеру руху потоку алюмінієвого сплаву, який стікає по жолобу, розраховували значення критерію Рейнольдса [7] за формулою:

$$\text{Re}_x = \frac{4 \cdot \omega_x \cdot \delta \cdot \rho_x}{\mu_x}, \quad (1)$$

де ω_x – швидкість стікання сплаву по жолобу, м/с,

δ – товщина шару сплаву, м,

ρ_x – щільність сплаву, кг/м³,

μ_x – в'язкість сплаву, Нс/м².

Час плину сплаву по жолобу залежно від його довжини складав 0,33 – 2,00 с. Швидкість руху металевої суспензії на жолобі знаходилася в межах 0,2 – 2,0 м/с в залежності від його довжини. Товщина шару металу, який протікав по жолобу складала приблизно 6 мм. Значення щільності сплаву в залежності від певної частки твердої фази в суспензії розраховували виходячи із її величини для сплаву в рідкому стані [8] та в твердому [9]. Значення в'язкості алюмінієвого сплаву при заданих значеннях температур металу використано із роботи [10].

В ході досліджень були одержані наступні результати. Після лиття досліджуваного сплаву по жолобу довжиною 100 мм при температурах заливки 620 і 630 °С у виливках формувалася структура первинної фази, подібна до недендритної (рис. 1 а, б). При цьому на шліфах спостерігалися також дендритні елементи та вироджені дендрити. Після заливки сплаву на жолоб при температурі 650 °С (рис. 1 в) в структурі виливка спостерігали значну кількість розеток та розгалужених розеткоподібних кристалів розміром 185 – 235 мкм, а також певну кількість дендритних елементів. При температурі заливки 680 °С у виливку утворилася дендритна структура (рис. 1 г), середня величина дендритного параметра в центрі виливка при цьому становила 26 мкм.

При довжині жолоба 200 мм та температурах заливки сплаву 620, 630 і 650 °С формувалася переважно недендритна структура первинної твердої фази з певною кількістю дендритних елементів. В результаті лиття сплаву на жолоб при температурі заливки 680 °С утворилася дендритна структура α -фази з середньою величиною дендритного параметра в центрі виливка 31 мкм.

В разі заливки сплаву на жолоб довжиною 300 мм від температур заливки 620, 630 і 650 °С у виливках утворилася недендритна структура фази α -Al. В структурі сплаву також були присутні розеткоподібні і вироджені дендритні кристали з незначною кількістю дендритних елементів. При заливці сплаву на жолоб при температурі 680 °С спостерігали дендритну структуру первинної фази, а середня величина дендритного параметра в центрі виливка складала при цьому 29 мкм. Відзначено також присутність в структурі вироджених дендритів.

В результаті використання жолобу довжиною 400 мм, при температурах заливки сплаву 620 і 630 °С спостерігали недендритну структуру первинної фази, яка в першому випадку була вже схожою на глобулярну з розміром частинок 40 – 57 мкм. При цьому, в структурі сплаву були також присутні розеткоподібні і вироджені дендритні кристали.

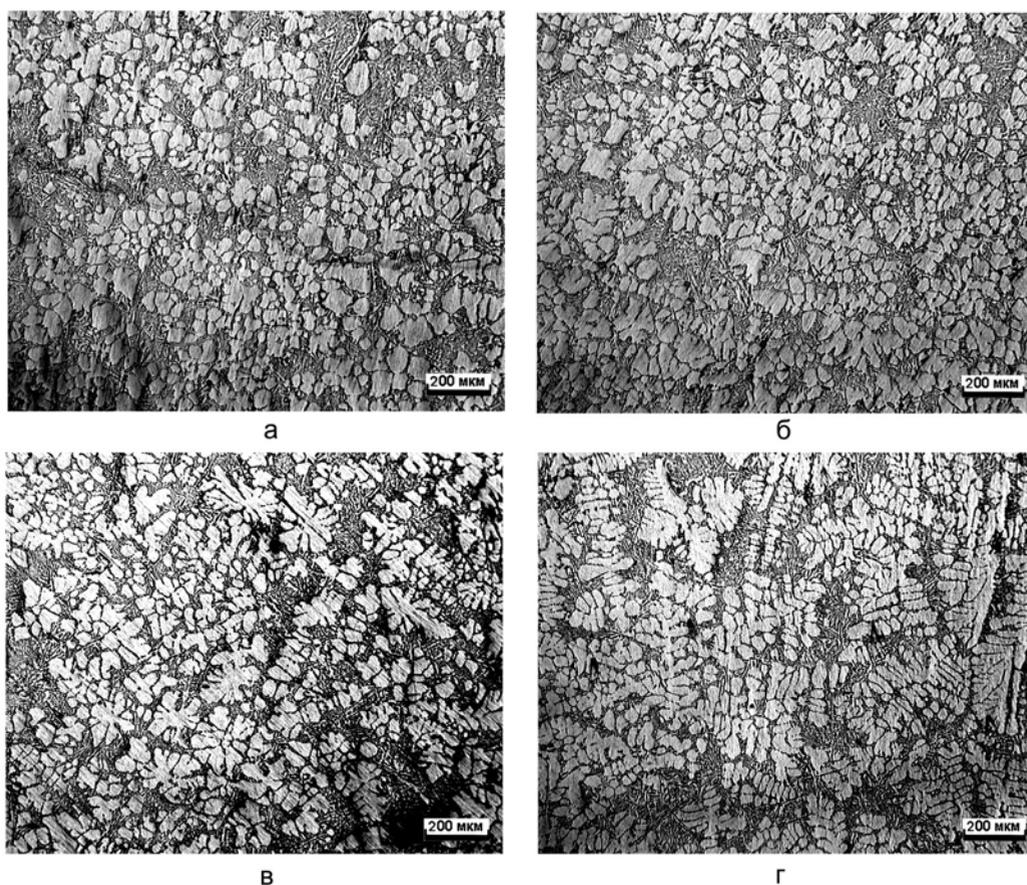


Рис. 1. Вплив температури заливки сплаву АК7 на морфологію структури фази α -Al при довжині жолобу 100 мм. а – $T_{\text{зал}} = 620$ °С, б – $T_{\text{зал}} = 630$ °С, в – $T_{\text{зал}} = 650$ °С, г – $T_{\text{зал}} = 680$ °С.

При довжині жолобу 500 мм і заливці від температур 620, 630 і 650 °С в одержаних виливках утворилася переважно недендритна структура α -фази. На шліфах спостерігалися також розгалужені розеткоподібні і вироджені дендритні кристали. При температурі заливки 680 °С спостерігали переважно дендритну структуру сплаву з виродженими дендритами.

Лиття досліджуваного сплаву на жолоб довжиною 550 мм при температурах заливки 620, 630 і 650 °С зумовлює формування недендритної структури первинної твердої фази (рис. 2 а – в). При цьому, в структурі сплаву були також присутні розеткоподібні кристали, вироджені дендрити і дендритні елементи. У другому виливку цієї серії (рис. 2 б) морфологія недендритної структури була дуже схожою на глобулярну. Підвищення температури заливки до 680 °С зумовило формування переважно дендритної структури α -твердої фази (рис. 2 г).

На рис. 3 показано вплив довжини жолобу на середній розмір частинок фази α -Al для недендритної структури та на величину дендритного параметра для дендритної структури в центральній частині виливків. Видно, що зі

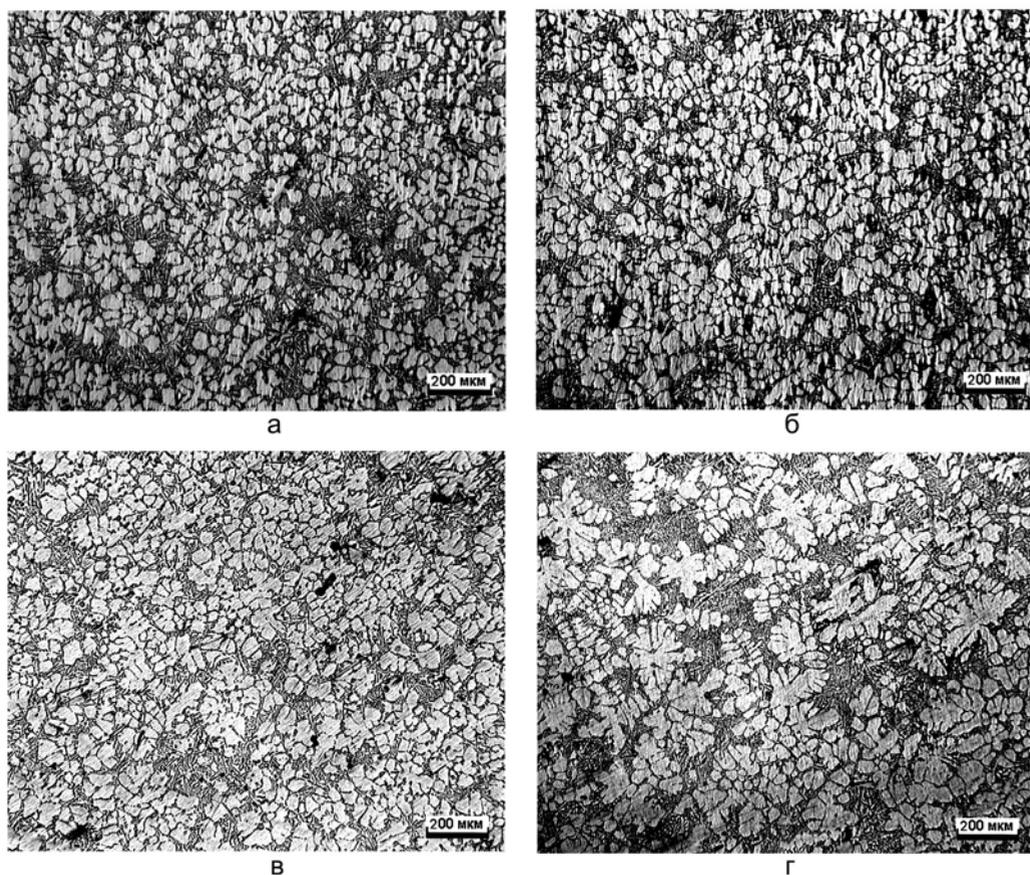


Рис. 2. Вплив температури заливки сплаву АК7 на морфологію структури α -фази при довжині жолобу 550 мм. а – $T_{\text{зал}} = 620$ °С, б – $T_{\text{зал}} = 630$ °С, в – $T_{\text{зал}} = 650$ °С, г – $T_{\text{зал}} = 680$ °С.

збільшенням довжини жолоба середній розмір частинок фази α -Al зменшується від 83,48 до 41,47 мкм, а дендритний параметр дещо збільшується.

Таким чином встановлено, що при використанні холодного металевого жолоба для заливки тонкостінної сталевий форми, в останній можна одержувати заготовки із алюмінієвого сплаву з недендритною структурою первинної фази з розміром частинок 30 – 54 мкм. Вибраний жолоб доцільно використовувати з довжиною 400 – 550 мм, а заповнення дослідної форми сплавом здійснювати при низьких температурах заливки – 620 і 630 °С. При вказаних оптимальних технологічних параметрах процесу заливки ливарної форми із застосуванням металевого жолобу, в центральній частині виливків утворюється недендритна структура первинної фази.

Встановлено також, що на вході жолоба має місце переважно турбулентний режим потоку металу, про що свідчать значення критерію Рейнольдса $Re = 2524 - 19862$. На виході з жолоба досліджуваний сплав має ламінарний характер руху, а значення критерію Рейнольдса при цьому становлять $Re = 78 - 262$. Тобто під час руху металу по металевому жолобу відбувається перехід турбулентного режиму потоку сплаву в ламінарний. При цьому припускається, що на холодному металевому жолобі відбувається

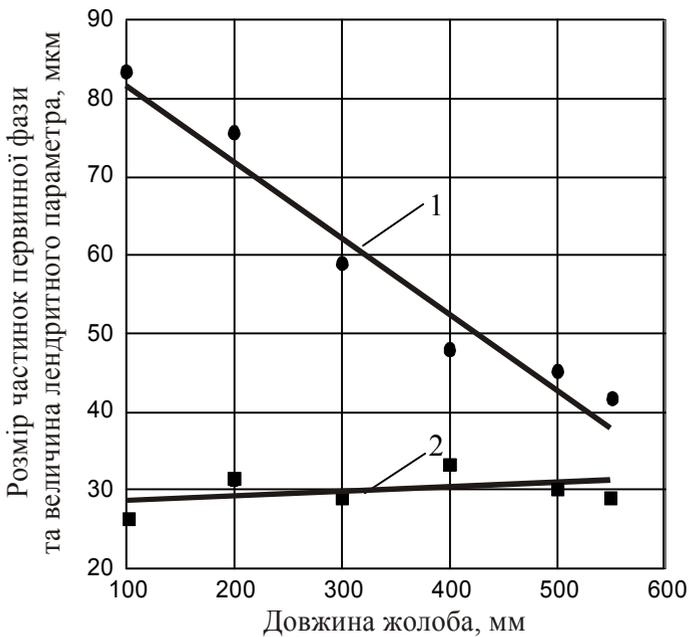


Рис. 3. Вплив довжини жолоба на середній розмір частинок первинної фази (1) та на величину дендритного параметра (2). 1 – температура заливки 620 °С; 2 – температура заливки 680 °С.

перемішування сплаву в потоці, яке з урахуванням множинного зародкоутворення і призводить до формування недендритної структури первинної фази в заготівках. Зі збільшенням довжини жолоба від 100 до 550 мм, для температур заливки сплаву на жолоб 620 і 630 °С морфологія структури фази α -Al стає більш округлою, розподіл більш однорідним, а розмір її частинок зменшується.

Література

1. Мельников Н.А. Новые процессы литья под давлением востребованы производством. // Литейн. пр-во. – 2003. – №12. – С. 20 – 21.
2. Борисов В.Г. Управление структурой слитков из алюминиевых сплавов в процессе непрерывного литья с МГД перемешиванием затвердевающего расплава // Цветные металлы. – 2001. – № 9 – 10. – С. 92 – 95.
3. Cardoso Legoretta E., Atkinson H.V., Jones H. Cooling slope casting to obtain thixotropic feedstock. // Solidification Processing. 07 Proceedings of the 5th Decennial International Conference on Solidification Processing, 23-25 July, 2007, Sheffield, UK. – P. 582 – 586.
4. Budiman H., Omar M.Z., Jalar A. Effect of Water Cooling on the Production of Al-Si Thixotropic Feedstock by Cooling Slope Casting // European Journal of Scientific Research. – 2009. – 32, No. 2. – P. 158 – 166.
5. Fan Z. Semisolid metal processing // International Materials Reviews. – 2002. – 47, No. 2. – P. 1 – 37.
6. Борисов Г.П., Смутьский А.А., Семенченко А.И. Экспресс-контроль расплава и прогнозирование свойств будущей отливки на стадии приготовления жидкого

- металла на основе усовершенствованного метода термического анализа // Процессы литья. – 2007. – № 1 – 2. – С. 19 – 22.
7. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: ГНТИХЛ, 1960. – 830 с.
8. Browne D. J., Hussey M. J., Carr A. J. Direct thermal method: new process for development of globular alloy microstructure // International Journal of Cast Metals Research. – 2003. – 16. – No. 4. – P. 418 – 426.
9. Головаченко В.П., Борисов Г.П., Дука В.М. Литье цветных металлов и сплавов в форму из металлической фольги // Процессы литья. – 2012. – № 2. – С. 40 – 44.
10. Наривский А.В. Исследование структурно-механических и фильтрационных характеристик алюминиево-кремниевых сплавов в интервале температур кристаллизации и их влияние на процесс питания отливки. // Дис. ... канд. техн. наук / ИПЛ АН Украины. – Киев, 1976. – 221 с.

Одержано 14.08.13

А. Н. Недужий

Получение недендритной структуры в алюминиевом сплаве АК7

Резюме

Показана возможность получения недендритной структуры сплава АК7 при заполнении им литейной формы с применением тонкого металлического желоба. Рассчитаны значения критерия Рейнольдса для сплава на входе и выходе с желоба. Установлено, что на входе желоба имеет место преимущественно турбулентный режим потока металла, а на выходе с желоба – ламинарный. Определены оптимальные технологические параметры процесса кристаллизации и формирования недендритной структуры.

A. M. Neduzhyi

Obtaining non-dendritic structure in the AK7 aluminium alloy

Summary

It's demonstrated the possibility of obtaining non-dendritic structure of the AK7 alloy, when one filled the mould with using thin metallic cooling slope. The Reynold's criterion of alloy on the entrance and on the exit of the cooling slope were calculated. It's established that in the entrance the turbulent mode of the alloy flow take place, but on the exit of the cooling slope the laminar flow exist. The optimal technological parameters of the crystallization process and the formation of the non-dendritic structure are established.