

диаметра. Установлено, что при кристаллизации непрерывнолитых заготовок химический состав стали наряду с ускоренным охлаждением является один из главных факторов, определяющих параметры дендритной структуры.

A. I. Babachenko, K. G. Domina, A. V. Knysh, E. A. Shpak

### The influence of the cooling regime and chemical composition on dendritic structure formation of the ingot and continuous cast billets

#### Summary

The dendritic structure features of the ingot and continuous cast billets of various diameters made of carbon and low-alloyed steels have been investigated. It has been established that at the solidification of continuous cast billets the chemical composition along with high-speed cooling is one of the important factors determining the dendritic structure parameters.

УДК 621.74:669.715:542.65//532.74

## *Особливості зміни морфології структури первинної фази при кристалізації алюмінієвих сплавів*

А. М. Недужий

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Визначено теплові умови формування дендритних, дендритно-розеткоподібних, розеткоподібно-дендритних, розеткоподібних та глобуллярних структур первинної фази для алюмінієвих сплавів типу АК7. Встановлено можливість та особливості переходу дендритної морфології структури  $\alpha$ -фази в недендритну і, зокрема, в розеткоподібну.*

Залежно від умов заливки, охолодження та кристалізації сплаву лита структура первинної фази в ливарних алюмінієвих сплавах типу АК7 утворюється зазвичай у вигляді трьох типів морфології – традиційної дендритної та недендритних – розеткоподібної та глобуллярної [1 – 3]. Разом із цим часто при розгляді мікроструктур вказаних сплавів спостерігається така морфологія первинної фази, яку складно віднести тільки до одного із вище вказаних трьох типів. Така структура може мати риси одночасно двох різних модифікацій, наприклад, дендритної і розеткоподібної або вона є наче перехідною чи проміжною морфологією від одного типу структури первинної фази в інший. Це може бути наслідком різкої зміни умов кристалізації сплаву. Оскільки в літературі мало інформації про можливість

## Плавлення і кристалізація

переходу одного типу морфології структури в інший [3], це питання лишається не до кінця зрозумілим. Тому метою дослідження було встановити можливість переходу дендритного типу структури в недендритний і, зокрема, в розеткоподібний для алюмінієвого сплаву після його кристалізації в тонкостінних сталевих формах за різних теплових умов.

Для досліджень вибрали ливарний алюмінієвий сплав марки АК7ч. Параметрами, якими варіювали в ході досліджень, були температура заливки сплаву  $T_{зал}$  та початкова температура форми  $T_\phi$ . В якості форми для проведення експериментів використовували сталевий кокіль розмірами (мм): товщина стінки – 5, верхній і нижній внутрішні діаметри – 50 та 40 відповідно, глибина порожнини форми – 80. Досліджувані сплави розплавляли в чавунному тиглі печі опору, покритому всередині вогнетривкою обмазкою. Заливку алюмінієвого сплаву в кокіль здійснювали при температурах 620, 630, 640, 650, 660, 680, 700, 750 та 800 °C. Температуру кокілю при цьому змінювали від кімнатної (умовно 20 °C) до 620 °C. Температуру сплаву в процесі його охолодження і тверднення контролювали хромель-алюмелевими термопарами (діаметр дроту 0,3 мм). Після заливки сплаву в кокіль та досягнення температури 580 – 585 °C проводили гартування металу у воді. Вага одержаних виливків становила 200 – 240 г. З одержаних виливків вирізали темплети та виготовляли шліфи для проведення металографічних досліджень. Мікроструктуру сплаву досліджували в центральній, середній та поверхневій зонах литих виливків. Для того, щоб прослідкувати переход дендритного типу морфології структури первинної фази в недендритний і, зокрема, в розеткоподібний, всі одержані результати мікроструктур у вигляді точок по черзі було нанесено на прямоокутну декартову систему координат  $T_{зал} T_\phi$ .

Після нанесення одержаних результатів морфології структури первинної фази на координатну площину  $T_{зал} T_\phi$  та її аналізу було встановлено (рис. 1), що між дендритною (Д) та недендритною (Н) морфологіями структур досліджуваного алюмінієвого сплаву є переходна зона (П), в якій відбувається поступовий переход від дендритної до недендритної структури. З рисунку видно, що починаючи вже від температури заливки 644 °C і нижче до 620 °C, в центральній та середній зонах виливків утворюється недендритна структура кристалів твердої фази. Стрілкою на рис. 1 позначене поступовий переход від дендритної до недендритної структури. Під час аналізу одержаних результатів на координатній площині  $T_{зал} T_\phi$  для вибраного алюмінієвого сплаву після його кристалізації в формах за різними тепловими режимами заливки було визначено області утворення дендритної (Д), дендритно-розеткоподібної (Д-р), розеткоподібно-дендритної (Р-д), розеткоподібної (Р) та глобуллярної (Г) морфологій структур первинної фази (далі – відповідні морфологічні області). На рис. 2 показано особливості розташування вище вказаних морфологічних областей сплаву після його кристалізації. Стрілками позначене поступовий переход від дендритної Д до розеткоподібної Р морфології структури кристалів первинної фази. Область дендритних структур Д розташована в правій частині координатної площини  $T_{зал} T_\phi$ .

## Плавлення і кристалізація

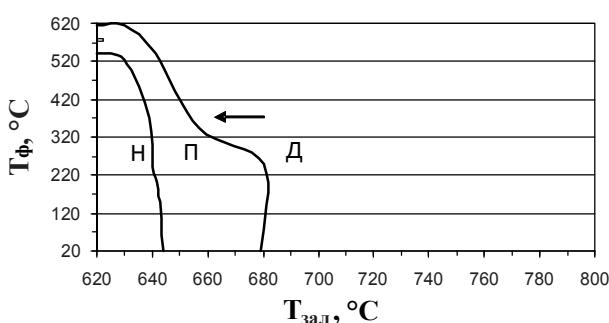


Рис. 1. Зона переходу від дендритної до недендритної морфології структури первинної фази сплаву АК7 за різних умов заливки. Н – область утворення недендритних структур, Д – область дендритних структур, П – перехідна зона.

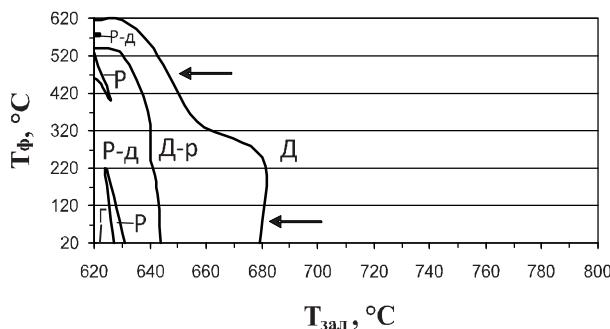


Рис. 2. Розташування морфологічних областей на координатній площині  $T_{\text{зал}} - T_{\phi}$  сплаву АК7 за різних значень параметрів заливки. Д – область дендритних структур, Д-р – дендритно-розеткоподібних структур, Р-д – розеткоподібно-дендритних структур, Р – розеткоподібних структур, Г – структур, близьких до глобуллярної.

ординат вже при  $T_{\phi} = 540$  °С (рис. 2). Це означає, що дендритно-розеткоподібні структури в литих виливках із досліджуваного алюмінієвого сплаву можуть формуватись і при  $T_{\text{зал}} = 630$  °С. Ліворуч від області Д-р розташована область розеткоподібно-дендритних Р-д структур сплаву, а саме в інтервалах температур заливки 631 – 644 °С та 620 – 627 °С при заливці в непрогріті кокілі. Лівою межею області розеткоподібно-дендритних структур сплаву до  $T_{\phi} = 460$  °С є вісь ординат (рис. 2). Розеткоподібно-дендритні структури  $\alpha$ -фази утворилися в сплаві також при заливці від температури 622 °С і  $T_{\phi} = 574$  °С та  $T_{\phi} = 582$  °С відповідно. Встановлено існування двох областей утворення розеткоподібних Р структур. Перша морфологічна область розеткоподібних структур первинної фази формується в інтервалі  $T_{\text{зал}} = 627 - 631$  °С – при літті сплаву в кокіль кімнатної температури. Верхньою межею цієї області Р є  $T_{\phi} = 221$  °С (рис. 2). Друга морфологічна область розеткоподібних структур утворилася в інтервалі температур заливки 620 – 626 °С при літті сплаву в попередньо прогріті форми від температури 404 °С до 530 °С. Нарешті, морфологічна область глобуллярних структур Г утворюється при заливці сплаву від  $T_{\text{зал}} = 620 - 621$  °С в форми кімнатної

(рис. 2), а саме, в інтервалі температур заливки 679 – 800 °С при літті сплаву в непрогріті ( $T_{\phi} = 20$  °С) форми. При заливці сплаву в попередньо нагріті форми ліва межа області дендритних структур зміщується вгору і поступово ліворуч, наближуючись до вісі ординат при  $T_{\phi} = 618$  °С. Це означає, що дендритна структура первинної фази у виливках може утворюватись і при температурах заливки сплаву навіть менших за 660 °С (рис. 2).

Область дендритно-розеткоподібних структур (Д-р) сплаву в свою чергу, розташована відразу ліворуч від області Д, і утворюється в інтервалі температур заливки 644 – 679 °С при літті у форми кімнатної температури. Після заливки сплаву в попередньо нагріті форми ліва межа області Д-р структур зміщується ліворуч і вгору, наближаючись до вісі

ordinat (рис. 2). Це означає, що дендритно-

## Плавлення і кристалізація

температури (рис. 2). При вказаних умовах заливки в центральній та середній зонах литих виливків утворюється близька до глобуллярної структура первинної фази із середнім розміром глобуля 65 – 130 мкм. Необхідно також відмітити, що в поверхневій зоні усіх одержаних литих виливків спостерігали переважно дендритну структуру. На рис. 3 наведено характерну типову морфологію структури первинної фази для кожної з вище описаних морфологічних областей досліджуваного алюмінієвого сплаву.

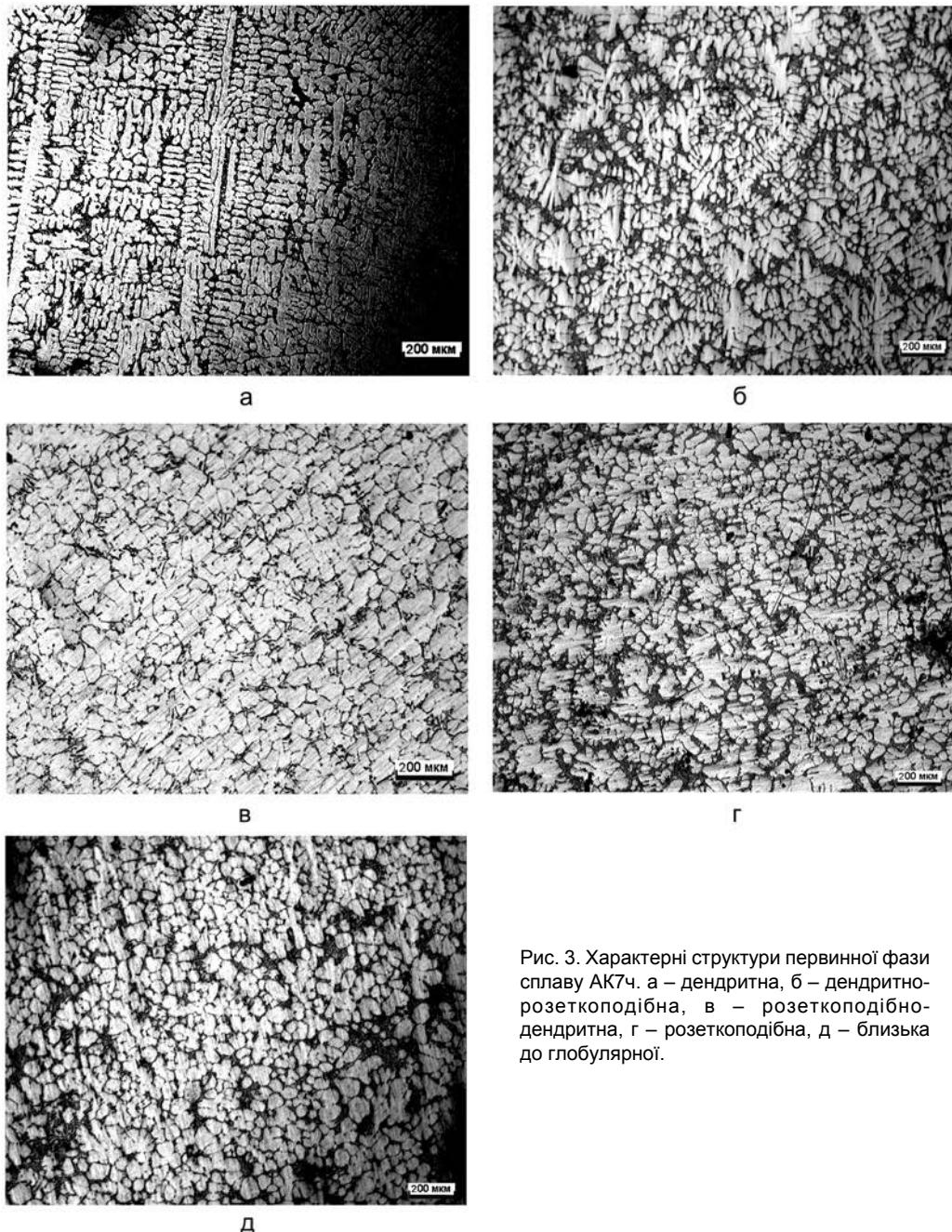


Рис. 3. Характерні структури первинної фази сплаву АК7ч. а – дендритна, б – дендритно-розеткоподібна, в – розеткоподібно-дендритна, г – розеткоподібна, д – близька до глобуллярної.

Таким чином визначено теплові умови формування дендритних, дендритно-розеткоподібних, розеткоподібно-дендритних, розеткоподібних та близьких до глобулярної структур  $\alpha$ -фази для алюмінієвого сплаву АК7ч. Встановлено, що перехід від дендритної до недендритної, і, зокрема, до розеткоподібної морфології структури первинної фази відбувається не відразу, а в зоні поступового переходу, величина якої змінюється відповідно тепловим умовам заливки. Показано, що близька до глобулярної структура  $\alpha$ -фази утворюється від температур заливки 620 – 621 °C при літті сплаву в формі кімнатної температури. Щодо утворення в ливарних алюмінієвих сплавах типу АК7 розеткоподібної структури первинної фази, то можна припустити, що на початку свого існування розеткоподібна структура певний проміжок часу була звичайною дендритною структурою, а потім змінились умови кристалізації сплаву, які в свою чергу викликали суттєві зміни подальшого розвитку і зростання дендритної структури, що в результаті і призвело до її переродження у розеткоподібну морфологію структури  $\alpha$ -фази алюмінію.

## Література

1. Zhu M. F., Kim J. M., Hong C. P. Modeling of Globular and Dendritic Structure Evolution in Solidification of an Al-7mass%Si Alloy // ISIJ International. – 2001. – 41, 9. – P. 992 – 998.
2. 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, 4. – P. 418 – 426.
3. Борисов А. Г. Розеткова та дендритна морфологія первинної фази при літті алюмінієвого сплаву в металевий кокіль // Металознавство та обробка металів. – 2010. – 4. – С. 13 – 19.

Одержано 23.10.14

**А. Н. Недужий**

## **Особенности изменения морфологии структуры первичной фазы при кристаллизации алюминиевых сплавов**

### **Резюме**

Определены тепловые условия формирования дендритных, дендритно-розеткоподобных, розеткоподобно-дендритных, розеткоподобных и глобулярных структур первичной фазы для алюминиевых сплавов типа АК7. Установлены возможность и особенности перехода дендритной морфологии структуры  $\alpha$ -фазы в недендритную и, в частности, в розеткоподобную.

A. M. Neduzhyi

**Morphology features of the structure  
of the primary phase during solidification of aluminum alloys**

**Summary**

It was determined the areas of dendritic, dendritic-rosette-like, rosette-like-dendritic, rosette-like and globular morphologies of the primary phase for aluminum alloys of AK7 type. It was determined potential and peculiarities of the transition of the dendritic morphological structure of  $\alpha$ -phase into the non-dendritic one and separately to the rosette-like. It was found the heat conditions of the pouring of which structure of the primary phase closed to the globular one.

УДК: 669.295'71'292:621.9.048

*Структура та властивості літих сплавів  
системи  $Ti - Al - V$  електронно-променевої  
виплавки*

М. М. Ворон, М. І. Левицький, Т. В. Лапшук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Досліджено вплив технологічних параметрів виплавки  $\alpha + \beta$ -сплавів системи  $Ti - Al - V$ , отриманих за технологією електронно-променевої гарнісажної плавки (ЕПГП) з електромагнітним перемішуванням розплаву, на формування їх структури та властивостей. На основі експериментальних даних побудовано математичні моделі залежності структурних параметрів сплавів та їх твердості від режимів виплавки. Показано, що за допомогою даної технології можна отримувати літі готові вироби та напівфабрикати, які за комплексом механічних властивостей не поступаються деформованим.*

**Т**итанові сплави відносяться до перспективних матеріалів сучасності завдяки поєднанню високої міцності, пластичності, корозійної стійкості та можливості варіювання цих характеристик в широких межах як шляхом легування, так і відповідної обробки [1, 2]. Загалом титанові сплави поділяють на 5 груп – три основні (за фазовим складом) та дві умовні. До основних відносять  $\alpha$ -,  $\alpha + \beta$ - та  $\beta$ -титанові сплави, а до умовних – евтектичні сплави та сплави на основі інтерметалідів [2].

Найпоширенішими титановими сплавами є  $\alpha + \beta$ -сплави, основним представником яких можна вважати найбільш розповсюджений титановий сплав ВТ6 (у західній літературі його ідентифікують як Ti-6-4 або Grade 5). Ці сплави відрізняються високими показниками міцності, відносно