

Дослідження фрагментації дендритів при формуванні недендритної структури

А. Г. Борисов, кандидат фізико-математичних наук
Т. Г. Цір

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Показано ріст та кінцеву морфологію різних типів фрагментів, що формуються при розпаді класичного дендрита. Також співставлені морфологічні одиниці, які отримані на прозорих модельних речовинах зі структурами алюмінієвих сплавів.

Однією з основних гіпотез, що пояснюють формування недендритної структури, є фрагментація в розплаві раніше утворених дендритів [1]. Оскільки на металографічних шліфах, на яких спостерігається недендритна морфологія, визначити її походження практично неможливо, були проведені дослідження на прозорій металопоподібній системі. Метою такої роботи було отримання (шляхом підплавлення) всіх можливих типів дендритних фрагментів з їх подальшим вирощуванням. Зіставлення одержуваних структур з тими, які спостерігаються для реальних металів, дозволило б зробити висновок, чи є останні наслідком зростання фрагментів.

Металеві зразки були отримані зі сплаву АК7ч прямим термічним методом реолиття [2]. Температура заливання становила 620 °С, температура сталевого кокіля була кімнатною. Металографічні дослідження структури проводили в поперечному перерізі зразків з наступним анодуванням.

В якості модельної речовини використовували сплав камфен – 5 % (по масі) салолу, яким заповнювали плоскопаралельну кювету товщиною 100 мкм. Кювету розміщували в термостатуючому осередку, який міг омиватися водою з двох різних термостатів, перший з яких («гарячий») використовували для підплавлення зразка, а другий («холодний») – для вирощування фрагментів. Температура плавлення зразка становила 49,1 °С, температура «гарячого» термостата 50 °С, вирощування фрагментів відбувалося при температурі 48,2 °С, що становило переохолодження $\Delta T=0,9$ °С. Також для даного переохолодження був визначений радіус втрати стійкості R_c , який склав 50 мкм. Знизу зразок підсвічували (через воду), зверху вели спостереження через мікроскоп з відеозаписом.

Спочатку методом послідовного розплавлення і кристалізації був отриманий вихідний зразок, для якого площа $\{100\}$ збігалась із площиною зразка. Це було необхідно для того, щоб отримати «правильний» вихідний дендрит камфена, для якого переважним напрямком росту є $\langle 100 \rangle$. Вихідний дендрит підплавляли до різного ступеня для отримання фрагментів різної конфігурації, потім здійснювали їх вирощування.

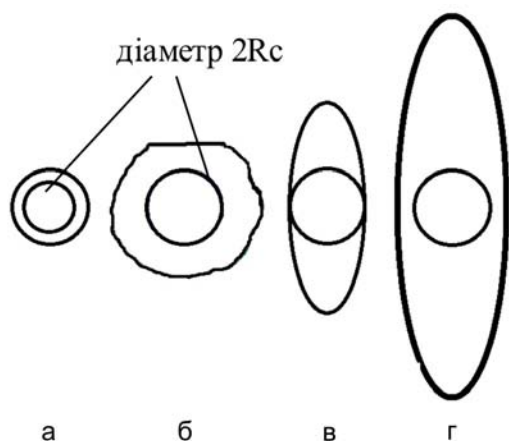


Рис. 1. Типи дендритних фрагментів. "а" – маленький фрагмент, що менший за радіус втрати стійкості R_c , тип "б" – близький до округлого, що більший в декілька разів за радіус втрати стійкості R_c , тип "в" – овальний, довжина якого 5 – 6 R_c , тип "г" – овальний, довжина якого суттєво перевищує R_c .

відбувається з формуванням двох виступів в кожному напрямку $\langle 100 \rangle$, який знаходиться в площині препарату, і таким чином формується «дублетна» дендритна структура, яка характеризується тим, що на внутрішніх поверхнях дендритних стовбурів в кожній парі відсутні бічні гілки другого порядку.

На рис. 2 в показано зростання кристала, що розвивається з фрагмента типу "в", при цьому на проміжній стадії спостерігається «гантелеподібна» структура – кінці фрагмента, що мають радіус кривизни менший R_c , швидко «роздуваються», в той час як середня, «сполучна» частину овалу практично не зростає. Таким чином ми отримуємо як би два округлих кристали, з'єднаних тонким перешийком. Надалі кожен з таких округлих кристалів втрачає стійкість і формується структура, що нагадує з'єднані між собою половинки «класичного» дендрита, розділені западиною. З боку цієї западини на стовбурах сусідніх дендритів бічні гілки другого порядку не утворюються аналогічно «дублетному» дендриту, описаному вище. Таким чином, ми отримуємо кристал, у якого в напрямках $[100]$ та протилежному $[\bar{1}00]$ ростуть «класичні» дендрити, а в $[010]$ і $[0\bar{1}0]$ – «дублетні».

Розвиток фрагмента типу "г" представлено на рис. 2 г. Розглянемо ту частину фрагмента, якій не заважає сусідній кристал. Як бачимо, на кінці фрагмента формується половинка «класичного» дендрита, позаду якої на ділянках практично з нульовою кривизною має місце втрата стійкості, надзвичайно схожа на втрату стійкості плоским фронтом при спрямованій кристалізації.

Як постає з усього сказаного вище, морфології, що формуються при зростанні фрагментів, не дивлячись на їх різноманітність, мають одну схожу рису – при достатньому розвитку їх основні структурні елементи ростуть в напрямку переважного зростання, що надає цим кристалом певну симетрію.

Було встановлено, що при підплавленні формуються 4 різні типи дендритних фрагментів, які схематично представлені на рис. 1.

На рис. 2 а представлені послідовні стадії росту фрагмента типу "а". Як видно з малюнка в цьому випадку спостерігається послідовність морфології, яка має місце при зародженні кристала з переохоложеного розплаву – зростання округлого кристала, втрата стійкості з формуванням виступів у напрямках переважного зростання $\langle 100 \rangle$ та формування «класичного» дендрита.

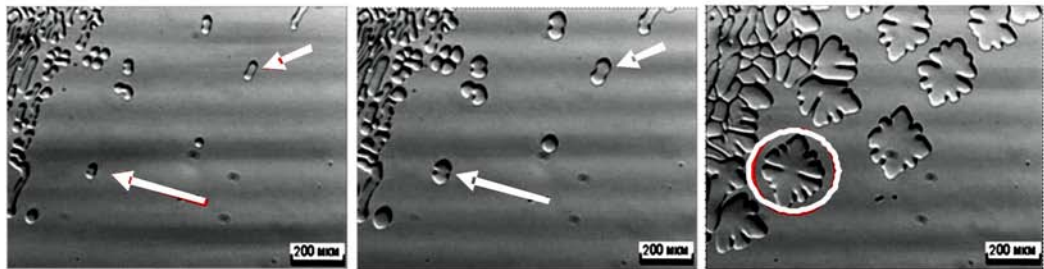
При розвитку фрагмента типу "б" (рис. 2 б) спостерігається цікава ситуація, коли втрата стійкості



а



б



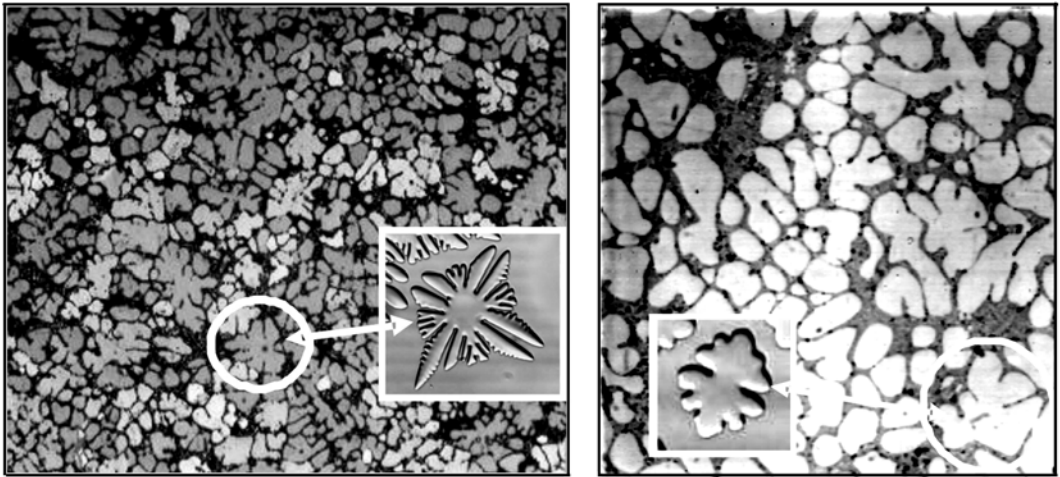
в



г

Рис. 2. Послідовні стадії росту різних типів фрагментів. а – округлий, що менший двох радіусів втрати стійкості R_c , б – округлий, в кілька разів більше R_c , в – овальний, довжина якого складає 5–6 R_c , г – овальний, довжина якого істотно перевищує R_c .

У той же час при розгляді структур, що формуються зі сплаву АК7ч прямим термічним методом реолиття (рис. 3), стає помітним, що симетричні структури практично не спостерігаються. Як виняток можна привести одиничний дублетний дендрит та гантелеподібний дендрит (рис. 3 а, б). Дані структури зустрічаються рідко.



а

б

Рис. 3. Співставлення отриманих результатів.

Таким чином при оплавленні вихідних дендритних структур формуються чотири типи фрагментів. Зростання фрагментів призводить до реалізації структур, що мають певну симетрію. Фрагментація дендритів, якщо вона і має місце, не може бути ключовим чинником при утворенні розеткової морфології.

Література

1. Flemings M. C., Yurko J.A., Martines R.A. Semi-solid forming – our understanding today and its implications for improved processes. // Symposium in Honor of Wilfred Kurz, Charlotte, NC, USA. March 14–18, 2004. – P. 3 – 14.
2. Brown 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. – Vol. 16.– P. 418 – 426.

Одержано 25.01.13

А. Г. Борисов, Т. Г. Цир

Исследование фрагментации дендритов при формировании недендритной структуры

Резюме

Показан рост и конечная морфология различных типов фрагментов, формирующихся при распаде классического дендрита. Также сопоставлены морфологические единицы, полученные на прозрачных модельных веществах со структурами алюминиевых сплавов.

A. G. Borisov, T. G. Tsir

Experimental study fragmentation of dendrite on the formation of nondendritic structure

Summary

The growth and final morphology of different types of fragments formed during disintegration of classical dendrites is shown. The morphological units, received with the model substances, with structures of aluminum alloys are compared.

УДК 669.018.9:620.18:542.65

*Високоентропійні сплави,
структуроутворення та кристалізація*

О. А. Щерецький, доктор технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Досліджено особливості плавки та кристалізації двох високоентропійних багатокомпонентних сплавів $Al_{14}Cu_{14}Ti_{14}Zr_{16}Ni_{14}Cr_{14}Y_{14}$ та $Cu_{17}Ti_{17}Zr_{17}Ni_{17}Cr_{17}Y_{15}$ з широким інтервалом кристалізації. Встановлено термофізичні характеристики і особливості фазово-структурного стану сплавів.

Як відомо, вірогідність утворення тієї чи іншої фази в сплаві при постійному тиску і температурі визначається за умов мінімуму вільної енергії системи (утворюються фази, які за даних умов мають мінімальну вільну енергію Гіббса). Процес сплавоутворення зумовлений дією двох факторів – ентальпійного (ДН) і ентропійного (ТДС). Ентальпія це – теплота, яка виділяється чи поглинається при утворенні фаз в результаті взаємодії в системі. Ентропія – термодинамічна функція, що характеризує міру неупорядкованості термодинамічної системи, тобто неоднорідність розташування її складових.

Таким чином можливо розглядати дві групи сплавів:

1. Сплави, для яких визначальним є ентальпійний фактор. Це відомі нам традиційні сплави, які містять основу – 1 – 2 елемента і 4 – 5 легуючих компонентів. Структура таких сплавів складається із кількох фаз – твердих розчинів, інтерметалідів, евтектики. Переважна більшість традиційних сплавів насьогодні достатньо добре досліджена.

2. Сплави, для яких визначальним є ентропійний фактор, вперше були одержані в 2003 р. [1] і характеризуються високою ентропією утворення. Вони не підпорядковуються діаграмам стану та загальновідомим закономірностям для традиційних сплавів. Структура таких сплавів складається