

ОСОБЕННОСТИ РАЗДЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ЭВТЕКТИЧЕСКОГО ПЕРЕВРАЩЕНИЯ В ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОМ СИЛУМИНЕ

С. С. Петров, Д. М. Ключник, *А. Г. Пригунова

Национальная металлургическая академия Украины

*Министерство промышленной политики Украины

Предыдущие исследования кинетики формирования первичных кристаллов кремния, учитывающие двухструктурное строение расплавов [1; 2], привели к выводу о специфическом распределении кремния в жидкости к моменту начала эвтектического превращения. Главной его особенностью является наличие участков жидкости, в которой концентрация атомов кремния достигает значений порядка $C_0 \sim 1-3\%$ (рис.1). Наличие химической неоднородности в расплаве определяет механизмы последующего эвтектического превращения $Ж \rightarrow \alpha-Al + \beta-Si$.

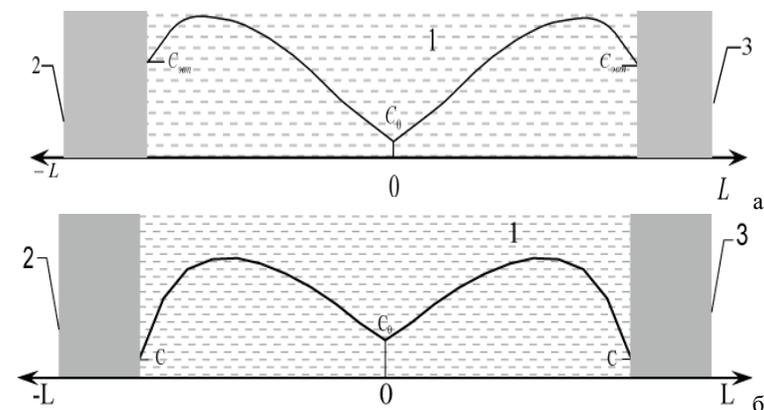


Рис. 1. Распределение атомов кремния в расплаве после выделения кристаллов кремния, где 1 – зона, соответствующая жидкости; 2, 3 – кристаллы Si; $2L$ – расстояние между ними; а – микрокартина после выделения низкотемпературных первичных кристаллов кремния, $C_{эвт} = 10,6\%$ Si; $C_0 = 2\%$ Si; б – микрокартина после выделения высокотемпературных первичных кристаллов кремния, $C = 2-6\%$ Si; $C_0 = 5-6\%$ Si

В работах [2; 3] детально исследовалась возможность осуществления аномального механизма эвтектического превращения. При этом однозначно установлено, что вокруг высокотемпературных первичных кристаллов к первым моментам начала эвтектического превращения $\alpha-Al$ раствор практически полностью изолируется от жидкости дендритами, что соответствует микрокартине распределения кремния (см. рис. 1, б). Очевидно, что в обоих случаях на некотором расстоянии от первичных кристаллов в местах, где содержание кремния крайне мало, в силу кинетических причин,

первым из расплава также выделяется алюминиевый твердый раствор. Аналогичные предпосылки существуют для зарождения и роста эвтектического кремния, содержание которого в местах ярко выраженных максимумов (см. рис. 1) соответствует 15 % Si, то есть концентрации, соответствующей заэвтектическому кремнию.

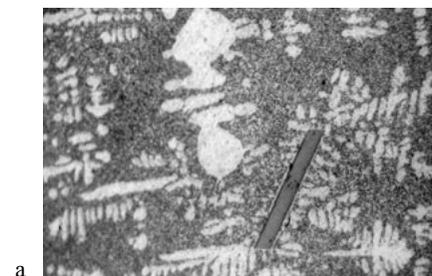
Таким образом, из анализа распределения кремния в расплаве заэвтектического силумина следует, что возникающие при эвтектическом превращении так называемые псевдопервичные дендриты алюминия и кристаллы кремния есть не что иное, как осуществление раздельного механизма одновременного роста фаз. Экспериментальное подтверждение этого факта и является задачей настоящего исследования.

Детальные металлографические исследования образцов, закаленных от температур начала эвтектического превращения, с одновременным применением метода последовательных шлифовок, показали, что раздельный механизм эвтектического превращения может осуществляться по трем различным схемам.

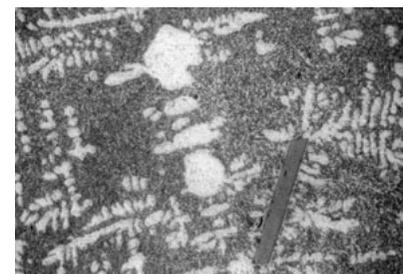
В первом случае параллельно с возникновением в жидкости эвтектических дендритов алюминия наблюдается рост кристаллов кремния в виде крупных пластин (рис. 2). Во втором случае, в тех же условиях, кристаллы кремния имеют полиэдрическую форму, морфологически сходны с первичными, однако значительно уступают им в размере (рис. 3). В обоих случаях, что подтверждают проведенные шлифовки, эвтектические структуры колониального типа не наблюдаются.

Примечателен третий случай, при котором рост эвтектического кремния осуществляется от первичного кристалла в направлении алюминиевого дендрита (рис. 4). При этом в отдельных сечениях кристаллов кремния просматривается граница раздела между первичным и эвтектическим кристаллами (см. рис. 4, б).

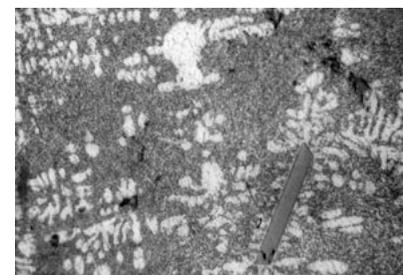
Дальнейший ход эвтектического превращения нетрудно предугадать. Из решения задачи формирования первичных кристаллов кремния [1; 2] установлено, что при стационарном росте кристалла величина концентрационного поля [4] или дворика кристаллизации [5] составляет при скорости охлаждения величину порядка 30–60 мкм. Исходя из данных о распределении кремния в предэвтектический период и размер дендритов алюминия, возникших в начальный момент эвтектического превращения, активная диффузионная зона находится в таких же пределах. Возможность перекрытия концентрационных полей, а, следовательно, согласно модели [4], высокая вероятность совместного парного роста, зависит от конкретной суперпозиции взаимного расположения, как первичных, так и вновь появившихся эвтектических кристаллов.



а



б



в



г

Рис. 2. Последовательные сечения кристаллов алюминия и кремния, образовавшихся по механизму отдельного роста эвтектики, 1–3 с от начала эвтектического превращения, $\times 400$

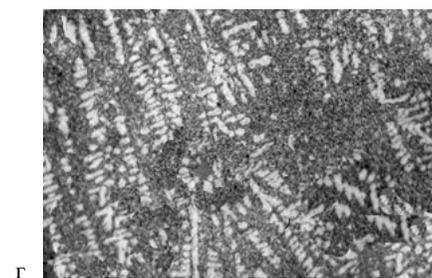
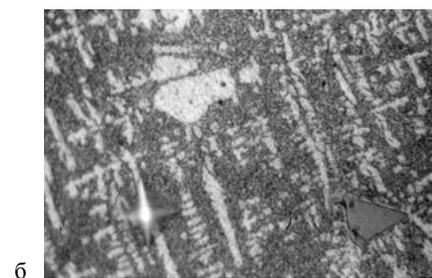
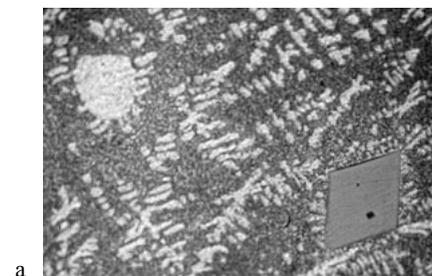


Рис. 3. Последовательные сечения кристаллов алюминия и кремния, образовавшихся по механизму отдельного роста эвтектики, 1–3 с от начала эвтектического превращения, $\times 400$

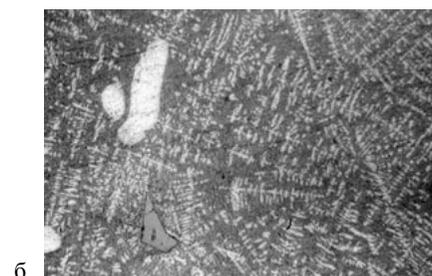


Рис. 4. Последовательные сечения кристаллов алюминия и кремния, образовавшихся по механизму отдельного роста эвтектики, 1–3 с от начала эвтектического превращения, $\times 200$

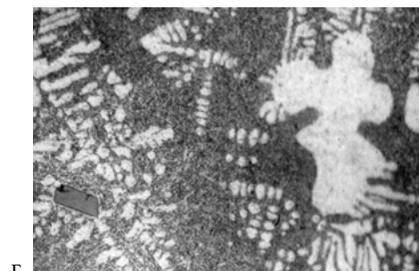
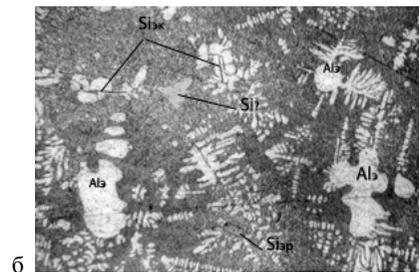


Рис. 5. Структурные условия перехода от раздельного к кооперативному росту эвтектики $\text{Ж} \rightarrow \alpha\text{-Al} + \beta\text{-Si}$; а, б $\times 200$; 1,5; а, в $\times 400$; 1,5

В частности, на рисунке 2 расстояние между растущими кристаллами составляет 30–70 мкм, что позволяет утверждать неотвратимость последующего совместного роста эвтектических составляющих. В двух других случаях (см. рис. 3 и 4; расстояние между кристаллами ~ 120 мкм) развитие процессов раздельного роста представляется еще возможным в течение незначительного времени.

Иллюстрируя вышесказанное, рассмотрим панорамные микрофотографии двух сечений образца и их увеличенные фрагменты (рис. 5). Если расстояния между кристаллами кремния и образовавшимся дендритом алюминия не превышает 20 мкм, то кооперативный рост кристаллов осуществляется непосредственно при их зарождении (см. рис. 5, б – верхняя часть фото 5, в). Если же расстояния между возникшими кристаллами более 80 мкм, то в течение некоторого времени реализуется возможность раздельного механизма роста (см. рис. 5 а, б – нижняя часть фото 5, г).

Таким образом, теоретически предсказан и экспериментально подтвержден механизм раздельного роста фаз в начальные моменты эвтектического превращения $Z \rightarrow \alpha\text{-Al} + \beta\text{-Si}$ в силуминах. Установлено, что в морфологическом плане механизм раздельного роста может осуществляться по трем возможным сценариям. Наличие раздельного механизма, определяемого спецификой строения расплавов силуминов, предполагает и объясняет появление дендритов алюминиевого раствора в заэвтектических сплавах, подобных первичным, и, напротив, существование псевдопервичных кристаллов кремния в доэвтектических силуминах.

Литература

1. Новые представления о массопереносе при формировании первичных кристаллов кремния / С. С. Петров // *Металловедение и термическая обработка металлов: Наук. та інформ. журнал / ПДАБА*, 2003. – № 1–2. – С. 14–24.
2. Кінетика формування фаз при кристалізації розплавів / Петров С. С., Пригунова А. Г., Ключник Д. М. // *Металознавство та обробка металів*. – К., 2007. – № 1. – С. 12.
3. Формирование структуры в системе Al–Si / Петров С. С., Пригунова А. Г., Пригунов С. В., Ключник Д. Н. // *Металловедение и термическая обработка металлов: Наук. та інформ. журнал / ПДАБА*, 2008. – № 1. – С. 58–64.
4. Особливості міжфазної кооперації при евтектичній кристалізації / И. М. Спиридонова, Е. Ю. Береза // *Металловедение и термическая обработка металлов: Наук. та інформ. журнал / ПДАБА*, 2007. – № 3. – Ч. 1. – С. 9–16.
5. И. В. Салли. Физические основы формирования структуры сплавов. – М. : *Металлургиздат*, 1963. – 219 с.