

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС»

ТРУДЫ
IX Международной научно-практической конференции
«Прогрессивные литейные технологии»

НИТУ «МИСиС»
13-17 ноября 2017 г.

Под редакцией проф. В.Д. Белова и проф. А.И. Батышева

МОСКВА 2017

УДК 621.74:669.1/8
ББК 34.3.61
П785



**«ПРОГРЕССИВНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»:
ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

*Под редакцией проф. В.Д. Белова и проф. А.И. Батышева
- М.: Лаборатория рекламы и печати, 2017, 358 с.
ISSN*

*Труды конференции издаются под общей редакцией текстов.
Сборник подготовили: В.Д. Белов, А.И. Батышев*

13 – 17 ноября 2017 года
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

ТРУДЫ IX Международной научно-практической конференции
«Прогрессивные литейные технологии»

© Кафедра ЛТиХОМ, НИТУ «МИСиС», 2017
© Лаборатория рекламы и печати, 2017

Содержание

Литейное производство России – сегодня

Белов В.Д. Кафедра литейных технологий и художественной обработки материалов НИТУ «МИСиС» в современных условиях развития России.....8

Дибров И.А. О проведении XIII международного съезда литейщиков и международной выставке «литье – 2017» 19 - 21 сентября 2017 г., г. Челябинск13

I. Основы теории и технологии литейных процессов

Голод В.М. Проблемы и перспективы диагностики дендритной структуры литейных сплавов24

Деев В.Б., Сметанюк С.В., Приходько О. Г., Пономарева К.В., Куценко А.И., Куценко А.А. Исследование влияния тепловых и электромагнитных воздействий на кристаллизацию расплавов28

Бондаренко Ю.А., Ечин А.Б., Баженов В.Е., Колтыгин А.В. Определение температурного градиента при направленной кристаллизации с помощью компьютерного моделирования процесса затвердевания32

Баженов В.Е., Пикунов М.В., Пашков И.Н. Изучение изотермической кристаллизации при выдержке жидкого цинка в твёрдом алюминии36

Митрохин А.С., Бережной Д.В. Определение оптимальных параметров вертикально-щелевой литниково-питающей системы для литья тонкостенных крупногабаритных отливок из магниевых сплавов в системе компьютерного моделирования литейных процессов «ProCast»40

Изотов В.А., Шатульский А.А. Определение шлакозадерживающей способности литниковых систем43

Сокорев А. А. Применение огнеупорных промышленных отходов в технологиях литейных процессов.45

Дудченко А.В. Формулировка задачи оптимизации конструкции щелевого питателя для ускоренной заливки литейных форм47

Мусинов В.В., Изотов В.А. Исследование коэффициентов расхода литниковых систем с фильтром52

Коновалов А.Н., Матвеев С.В. Некоторые аспекты проведения испытаний на растяжение металлов.55

II. Прогрессивные технологии производства отливок из сплавов цветных металлов и композиционных материалов

Деев В.Б., Прусов Е.С., Сметанюк С.В., Полежаев А.П., Прохоренко А.В. Исследование комплекса свойств заэвтектического силумина с различным количеством железа58

Деев В.Б., Прусов Е.С., Сметанюк С.В., Полежаев А.П., Приходько О.Г., Пономарева К.В. Исследование жидкотекучести модифицированного заэвтектического силумина61

Галушко А.М., Королев С.П., Шешко А.Г., Королев М.С., Волочко А.Т. Проблемы и пути управления структурообразованием в сплавах Al-Si при изготовлении отливок «поршень»64

Безруких А.И., Бондаренко Д.Н., Баранов В.Н., Юрьев П.О., Степаненко Н.А. Перспективы разработки новых алюминиевых сплавов, экономнолегированных скандием77

Никитин В.И., Никитин К.В., Тимошкин И.Ю., Лыков А., Черников Д.Г., Исаев А.И. Наследственное влияние структуры шихты на деформируемость бинарных силуминов.....81

Батышев К.А., Зажигин В.В. Получение качественных отливок из алюминиевых сплавов на предприятиях авиационной отрасли85

Лившиц В.Б., Безпалько В.И., Мамедова И.Ю., Попов Е.И. Влияние параметров литья под низким давлением на структуру и свойства алюминиевых сплавов89

Белов В.Д., Шаруда Н.А. Опыт производства высококачественной продукции из вторичного сырья в ПК «ВТОРАЛЮМИНПРОДУКТ»92

13. Han Q., Hu H., Zhong X. Models for the isothermal coarsening of secondary dendrite arms in multicomponent alloys // Metall. Mater. Trans., 1997, v. 28B, No. 6, p. 1185-1187.

УДК 621.746.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ расплавов

**В.Б. Деев¹, С.В. Сметанюк¹, О.Г. Приходько², К.В. Пономарева²,
А.И. Куценко², А.А. Куценко²**

¹НИТУ «МИСЦС», г. Москва

²Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк

В работах [1 – 7] экспериментально установлено, затем теоретически обосновано, что между поверхностной энергией (σ) и работой выхода электрона (W) как в твердом, так и в жидком состояниях существует линейная связь:

$$\sigma = kW, \quad (1)$$

С термодинамической точки зрения критический радиус зародыша пропорционален межфазовой поверхностной энергии ($\Delta\sigma_{ж-т}$). Используя соотношение (1), для $\Delta\sigma_{ж-т}$ будет справедливо равенство

$$\Delta\sigma_{ж-т} = k(W_T - W_{ж}), \quad (2)$$

где $\Delta\sigma_{ж-т}$ – разность поверхностной энергии расплава и твердой фазы; k – коэффициент пропорциональности; W_T и $W_{ж}$ – работа выхода электрона из твердого кристалла критических размеров и из расплава соответственно.

Следовательно, при кристаллизации расплава для образования зародыша критических размеров необходимо преодолеть энергетический барьер, который определяется по выражению (2) [8, 9].

В расплавах всегда имеются примеси и основные компоненты А и В, которые, в свою очередь, также образуют кластеры AmBn разного размера и состава. Растворимость примеси и компонента В в твердом состоянии меньше, чем в жидкости. При росте зародыша примеси накапливаются на поверхности кристалла, возникает адсорбционная пленка инородных атомов на его поверхности (рис. 1). Она блокирует дальнейший рост кристалла, так как атомам компонента А нужно проникнуть через толстую пленку δK на поверхности своего кристалла. Скорость роста кристалла падает до нуля. Кристалл прекращает рост, в расплаве должен возникнуть новый зародыш, соответственно, нужно время, чтобы преодолеть энергетический барьер на границе зародыш – расплав. Новый кристалл опять может вырасти только до размеров первого кристалла. Затем появляется следующий зародыш и т.д. Процесс зарождения и роста идет с накладкой (гистерезисом) во времени и в интервале температур «ликвидус – солидус». Поэтому все зерна вырастают примерно одинаковых размеров. Чем меньше скорость диффузии примесей с поверхности растущего кристалла, тем быстрее образуется толстая пленка на его поверхности и тем мельче будет зерно.

Адсорбционная пленка, возникающая на поверхности зародыша, удерживается электростатическими силами (физической адсорбции) за счет контактной разности потенциалов (КРП).

Механизм влияния модифицирующих физических воздействий на кристаллизацию расплавов рассмотрим с использованием основных положений разделительной диффузии компонентов.

Известно, что кристаллизация расплавов (состава типа А – В) идет за счет разности свободных энергий (то есть, за счет термодинамических потенциалов), задающих кинетику процесса.

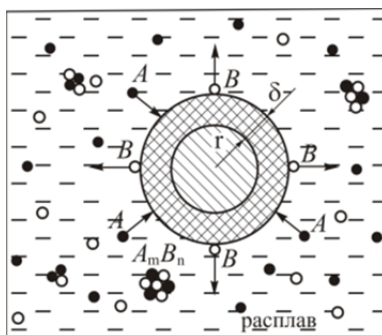


Рис. 1. Схема образования и роста кристалла в расплаве с позиции механизма разделительной диффузии

Разность свободных энергий приводит к возникновению в расплаве градиентов концентраций, что способствует образованию новых фаз и уменьшению энтропии S системы. Соответственно, при разделительной диффузии D компонентов А и В, происходящей под воздействием разности свободных энергий, вначале возникают градиенты концентраций А и В. Дендритная кристаллизация всегда начинается как фронтальная с поверхности формы в виде дендритов. При большом температурном градиенте dT/dx возникают мощные конвективные потоки, подающие «строительный» материал к фронту кристаллизации; при этом скорость V разделительной диффузии максимальна (рис. 2, а).

Физические модифицирующие воздействия (тепловые и электромагнитные) на расплавы при плавке, заливке, кристаллизации способствуют их перемешиванию, увеличению турбулизации и гомогенизации. В результате (рис. 2, б) в процессе кристаллизации расплава уменьшаются как продольные, так и поперечные температурные и концентрационные градиенты (замедляется скорость (V) разделительной диффузии компонентов), расплав гомогенизируется и увеличивается энтропия S системы, то есть время существования жидкой фазы. При минимальном температурном градиенте dT/dx конвективные потоки практически отсутствуют; разделительная диффузия (D) в ламинарной пленке на фронте кристаллизации замедляется и принимает молекулярный характер.

Таким образом, согласно предлагаемому механизму [8 – 12], физические воздействия гомогенизируют расплавы по концентрации и температуре, увеличивают энтропию S системы и устойчивость жидкого состояния. Уменьшение температурных (dT/dx) и концентрационных (dC/dx) градиентов приводит к уменьшению тепловых и концентрационных потоков в расплавах в период кристаллизации от жидкой фазы к фронту кристаллизации или к отдельному зародышу («строительный» материал поступает неориентированно за счет концентрационных и тепловых флуктуаций). Вследствие уменьшения градиентов dT/dx , dC/dx кристаллизация переходит от стадии фронтально-дендритной к стадии объемной с образованием мелкозернистой неориентированно-дендритной структуры (рис. 2, б). Соответственно, свойства сплавов будут улучшаться [8 – 15].

С позиции физики контактной разности потенциалов (КРП) физические воздействия понижают потенциальную энергию электронов зарождающихся твердых

частиц в ближайших объемах расплава. Соответственно, работа выхода электрона из зародыша также уменьшается, что приводит к уменьшению КРП между зародышем и расплавом. В результате критический радиус зародыша уменьшается, интенсивность зародышеобразования возрастает, микроструктура сплава измельчается. Таким образом, модифицирующий эффект определяется тремя факторами: 1 – гомогенизацией расплава (степенью гомогенизации); 2 – физической адсорбцией примесей на зародыше за счет КРП; 3 – скоростью диффузии примеси в расплаве от поверхности растущего кристалла. Чем больше скорость диффузии примеси, тем быстрее удаляются атомы примеси с внешней поверхности пленки, тем медленнее она утолщается во времени, тем крупнее будет зерно, и наоборот.

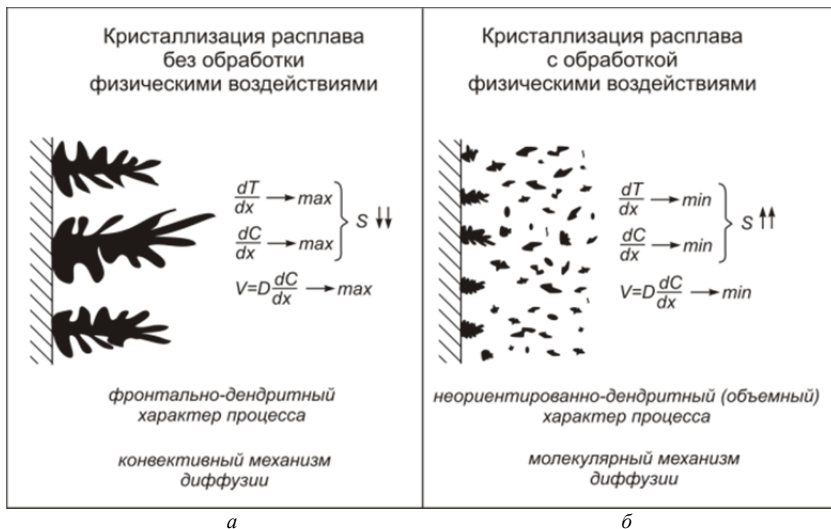


Рис. 2. Кристаллизация расплавов: а – без обработки физическими воздействиями; б – с обработкой физическими воздействиями

Следует отметить, что все физические воздействия на расплавы – вибрация, ультразвук, электромагнитные поля способствуют гомогенизации расплава, как и термовременная обработка, только при пониженных температурах.

Гомогенизация расплавов приводит к возникновению виртуальных химических связей между атомами А и В, а также атомами примесей. При охлаждении эти связи увеличивают вязкость сплава, уменьшают диффузию компонентов А и В, измельчают структуру. Таким образом, все модифицирующие физические воздействия на расплавы замедляют диффузию атомов или компонента А, или компонента В, или примесей, или всех одновременно, или бинарную диффузию А–В, А–примеси, В–примеси, А–В–примеси, а также измельчают зерно.

Газы – H_2 , O_2 , N_2 , CO_2 , CO в зависимости от сплава также адсорбируются на поверхности растущих твердых кристаллов, создают ту же пленку критической толщины δ_k и модифицируют расплавы.

Эвтектики измельчаются тогда, когда модифицирующее воздействие тормозит диффузию атомов А и В при одновременном образовании α и β -фаз. Эвтектики всегда образуются при более низких температурах, когда температурный фактор резко замедляет диффузию компонентов А и В, которые диффундируют на минимальное расстояние.

Очевидно, что чем ниже будет эвтектическая температура по отношению к температуре плавления компонентов А и В, тем меньше будет коэффициент разделительной диффузии и тем более мелкозернистая будет структура эвтектики. Наиболее «глубокие» эвтектики характерны для аморфных сплавов, так как в этом случае скорость разделительной диффузии будет минимальной и компоненты А и В не успевают разделиться с образованием α и β -фазы.

Выводы:

Модифицирующие физические воздействия на расплавы приводят при кристаллизации к торможению диффузии компонентов А и В и измельчению составляющих микроструктуры.

Список литературы:

1. Кунин Л.Л. // Доклад АН СССР, 1951, т. 41, С 1481.
2. Задумкин С.Н., Хоконов Х.Б. // Физика металлов и металловедение, 1966, т. 22, С. 121.
3. Демченко В.В. // Физика металлов и металловедение, 1966. Т. 21. С. 634.
4. Малов Ю.И. Физическая химия поверхностных явлений в расплавах / Ю.И. Малов, В.Б. Лазарев // Сб. ст. – Киев: Наукова думка, 1971. С. 45.
5. Задумкин С.Н. Египев В.Г. Работа выхода и поверхностная энергия металлов / С.Н. Задумкин, // Физика металлов и металловедение. 1966. Т. 22. С. 121.
6. Кунин Л.Л. // Докл. АН СССР, 1951. Т. 79. С. 53.
7. Задумкин С.Н. К теории поверхностного натяжения металлов // ЖФХ, 1953. Т.27. С. 502–504.
8. Деев В.Б. Эффективные технологии обработки расплавов при получении литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, Ри Хосен и др. // Литейщик России. 2012. № 10. С. 19–21.
9. Деев В.Б. Развитие научных основ тепловых и электромагнитных воздействий на расплавы и разработка ресурсосберегающих технологий получения высококачественных отливок из алюминиевых сплавов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольск-на-Амуре государственный технический университет, 2012. 35 с.
10. Деев В.Б. Об использовании физических модифицирующих воздействий при литье Al-сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.П. Мочалов и др. // Литейное производство. 2012. № 5. С. 18–20.
11. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2011. № 27. С. 117–122.
12. Деев В.Б. Исследование технологических параметров и расчет количества твердой фазы при кристаллизации литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, И.Ю. Кольчурина и др. // Литейщик России. 2007. № 8. С. 18–23.
13. Селянин И.Ф. Рафинирование расплавов при использовании низкосортной шихты / И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, А.П. Войтков, Н.В. Башмакова // Литейщик России. 2006. № 2. С. 18–20.
14. Деев В.Б. Влияние температурной обработки и электрического тока на свойства алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.И. Нохрина, Н.В. Башмакова // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 4. С. 50–53.
15. Деев В.Б. Исследование жидкотекучести и герметичности алюминиево-кремниевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, А.В. Феоктистов, Ю.Ф. Шульгин // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. № 3. С. 8–10.