

МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Б. Деев, И. Ф. Селянин, К. В. Пономарева, В. Н. Алхимов, О. В. Бинас
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Физические модифицирующие воздействия (тепловые, электромагнитные, механические и др.) на алюминиевые расплавы показали [1, 2] свою эффективность в технологиях получения качественных отливок.

Тепловой обработкой расплавов на основе алюминия занимались А.Г. Спасский, Д.П. Ловцов, Г.Г. Крушенко, В.З. Кисунько, И.А. Новохатский, П.С. Попель, О.А. Чикова, Ри Хосен, Г.С. Ершов, И.В. Гаврилин, В.И. Никитин, Н.М. Кочегура, И.Г. Бродова, А.Г. Пригунова, И.Ф. Селянин, Ф.М. Котлярский и др. Ими проведены масштабные исследования по влиянию температурной обработки (ТВТО, ТВО, ТСО и их разновидностей) на свойства сплавов и отливок в твердом и жидком состояниях. Показано, что использование температурной обработки при повышенном содержании лома и отходов в шихте позволяет уменьшить микронеоднородное состояние расплава и оказывает модифицирующее влияние на структуру получаемых сплавов и, соответственно, повышает служебные и механические свойства литых изделий.

Перспективными способами физического воздействия на расплав являются обработка расплавов электрическим током, магнитными полями и импульсами, теоретические и технологические основы которых развиваются в работах В.А. Ефимова, Л.А. Верте, И.Л. Пovah, В.И. Дубоделова, Ри Хосена, Г.П. Борисова, В.В. Крымского, Л.Г. Знаменского, Б.А. Кулакова, В.И. Якимова, Г.Н. Миненко и др.

Теоретическое описание модифицирующего влияния физических воздействий на процессы кристаллизации и структурообразования и получение мелкозернистой структуры в сплавах является весьма дискуссионным и единого мнения по этому вопросу до сих пор нет. Между тем, понимание сущности процессов обработки и создания единого подхода к получаемым в дальнейшем явлениям позволит более глубоко подойти к со-

зданию обобщенной теории модифицирования сплавов физическими воздействиями.

Ряд исследователей считает, что после некоторых физических воздействий (например, ТВО, ТСО и т.д.) мелкозернистая структура формируется за счет изменения степени переохлаждения более гомогенного расплава, которое, в свою очередь, определяет характер кристаллизации. Другие полагают, что модифицирующий эффект после обработки физическими воздействиями (электромагнитные поля, вибрация, ультразвук и др.) проявляется в результате ускорения процесса кристаллизации за счет обламывания образующихся дендритов и замешивания их мелких обломков в расплав, что способствует интенсификации зародышеобразования. Существует также мнение, что электромагнитные воздействия уменьшают межфазовую поверхностную энергию на границе «зародыш – расплав», что способствует формированию дополнительных центров кристаллизации, блокируя при этом рост дендритных ветвей за счет интенсификации массопереноса.

Экспериментальные результаты по исследованию термоЭДС и процесса кристаллизации показали [3, 4], что применение физических воздействий (ТВО при плавке, магнитное поле при заливке, электрический ток при кристаллизации) для обработки расплавов состава АК7ч, АК5М2, АМ5 уменьшает температурный интервал кристаллизации на 6...11 °С, а комплексная технология обработки расплавов ТВО, магнитным полем или электрическим током – на 8...15 °С. Было выявлено увеличение полного времени затвердевания сплавов $\tau_{\text{п}}$ (которое отсчитывается от температуры заливки до окончания «стояния» температуры конца кристаллизации) после обработки расплавов ТВО в сравнении с исходным в 1,11...1,16 раз, после комплексной обработки ТВО, магнитным полем или электрическим током – в 1,19...1,28 раз. Увеличению $\tau_{\text{п}}$ способствует рост времени кри-

МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ В РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

сталлизации, которое увеличивается за счет уменьшения конвективной теплопроводности, повышения вязкости кристаллизующегося расплава. Изменение параметров кристаллизации рассматриваемых сплавов способствуют формированию мелкозернистой структуры последних, что было подтверждено металлографическими исследованиями.

На основании исследования процесса кристаллизации и свойств сплавов был предложен следующий механизм влияния физических модифицирующих воздействий на кристаллизацию алюминиевых расплавов.

Физические модифицирующие воздействия (ТВО, электромагнитные поля, вибрация) на расплавы при плавке, заливке, кристаллизации способствуют их перемешиванию, увеличению турбулизации и гомогенизации. В результате в процессе кристаллизации расплава уменьшаются продольные и поперечные температурные и концентрационные градиенты (замедляется скорость разделительной диффузии компонентов), увеличивается энтропия системы, то есть – время существования жидкой фазы (увеличивается время кристаллизации и полное время затвердевания). При минимальном температурном градиенте dT/dx конвективные потоки практически отсутствуют; разделительная диффузия в ламинарной пленке на фронте кристаллизации замедляется и принимает молекулярный характер.

Таким образом, согласно предлагаемому механизму, физические воздействия гомогенизируют расплавы по концентрации и температуре, увеличивают энтропию системы и устойчивость жидкого состояния. Уменьшение температурных (dT/dx) и концентрационных (dC/dx) градиентов приводит к уменьшению конвективных 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. При этом подавляются ликвационные процессы.

Результаты исследований [5 – 7] влияния физических воздействий (ТВО, электрического тока, магнитного поля), шихтовых за-

готовок (с эффектом ТВО) на процессы кристаллизации и структурообразования, а также на механические и технологические свойства литейных алюминиевых сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5 позволили разработать ресурсосберегающие технологии в соответствии с рассмотренными выше положениями. Данные технологии реализованы в условиях нескольких промышленных предприятий при получении тонкостенных отливок (как в кокиль, так и в песчано-глинистую форму) различного назначения.

Использование ТВО при плавке промышленных алюминиевых сплавов позволило повысить качество отливок, полученных литьем по газифицируемым моделям.

Список литературы:

1. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: Металлургия, 1979. – 192 с.
3. Башмакова Н.В. Исследование влияния электрического тока на свойства алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. 18 с.
4. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 19 с.
5. Деев В.Б. Особенности использования лома и отходов при получении качественных литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина и др. // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Теория и практика литейных процессов». – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2012. С. 83–86.
6. Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов / В.Б. Деев // Монография. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 218 с.
7. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 27. – М.: Новокузнецк: СибГИУ, 2011. С. 117–122.