



УДК 621.74(07), 537.86+541.15

© *Х. Ри, Э. Х. Ри, С. Н. Химухин, М. А. Теслина, 2011*

ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ САЛОЛА И АЛЮМИНИЯ

Ри Х. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейное производство и технология металлов»; *Ри Э. Х.* – д-р техн. наук, проф. кафедры «Литейное производство и технология металлов» (ТОГУ); *Химухин С. Н.* – д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией «Конструкционные и инструментальные материалы», e-mail: ximuxin@yandex.ru; *Теслина М. А.* – канд. техн. наук, научн. сотр., e-mail: mari_teslina@mail.ru (ИМ ХНЦ ДВО РАН)

Исследовано влияние продолжительности обработки расплавов салола и алюминиевого сплава АЛ 9 посредством изотермической выдержки, вибрации или электромагнитными импульсами наносекундной длительности (НЭМИ). Разработана методика модельного эксперимента с использованием салола, позволяющая исследовать механизм влияния внешней обработки на изменение его структуры.

The effect of treatment duration of salol melts and aluminium alloy AL9 is investigated with isothermal soaking, vibration, and nanosecond electromagnetic pulses. The technique of a model experiment has been developed with salol, which makes it possible to investigate how external processing influences its structure.

Ключевые слова: расплав, вибрационная обработка, наносекундные электромагнитные импульсы, кристаллиты, алюминиевый сплав.

Введение

Исследователи, работающие в области литейного производства, все чаще используют методы модифицирования структуры для повышения свойств металлов и сплавов посредством обработки материала в жидком и твердожидком состояниях. Широко применяемые в практике физические методы воздействия на расплавы [1] в зависимости от вида энергоносителя можно разделить на следующие группы: тепловые, гравитационные, механические, электромагнитные, высокоэнергетические (корпускулярные). К электромагнитной группе относится обработка расплавов металлов и сплавов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) [2]. В условиях промышленного производства наиболее широко применяется механическая обработка с вибрацией кристаллизующегося расплава в литейной форме. Одна-

ко до настоящего времени физическая сущность процессов, происходящих в металле при внешнем воздействии, недостаточно изучена и зачастую носит феноменологический характер. Основная проблема заключается в отсутствии прямых методов исследования в условиях высоких температур расплавов металлов, что обуславливает применение ряда косвенных. К числу косвенных методов относится метод гамма-плотнометрии, реализованный в приборе Параболоид 4 М [3]. Другим косвенным методом является изучение структурообразования с применением модельных материалов на основе легкоплавких веществ (салол, парафин, бетол) [4]. Эти материалы имеют низкую температуру кристаллизации, формируют при затвердевании кристаллическую структуру, что и позволяет визуализировать процесс кристаллизации. Каждый из рассматриваемых методов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому только их сочетание позволяет более полно решить поставленную задачу.

Методика и материалы

В качестве модельного материала было выбрано прозрачное органическое вещество – салол (фенилсалицилат), кристаллизующийся при создании переохлаждения. Образцы (рис. 1) для исследований изготавливали следующим образом. На одну из стеклянных пластин (1) помещался салол (2) массой $150 \cdot 10^{-3}$ г и нагревался до расплавления (35°C). В качестве искусственных центров кристаллизации использовали кристаллы сахара (3) размером 0,3–0,5 мм. Кристалл сахара обладает кристаллографическим сродством к салолу. Перед внедрением в расплав его нагревали до температуры, равной температуре расплава [4]. Пластина с находящимся на ней расплавом накрывалась второй (4) стеклянной пластиной, также предварительно подогретой. Расстояние между двумя стеклянными пластинами фиксировалось прокладками (5), толщина которых составляла $5 \cdot 10^{-4}$ м. Изготовленный таким способом образец повторно расплавляли с последующей выдержкой или обработкой в изотермических условиях. После обработки образец помещался на стальную пластину, где кристаллизовался. Обработку вибрацией во время кристаллизации проводили следующим образом. После заданной выдержки образец помещали на стальную подложку, и после зарождения первого кристалла он подвергался вибрационной обработке до завершения кристаллизации. В связи с наложением кристаллов салола в процессе кристаллизации друг на друга идентифицировать каждый из них сложно, поэтому ширину кристаллов измеряли в краевой зоне (рис. 2 б) по известной методике [4]. Размер кристаллов исследовали в зависимости от изотермической выдержки расплава, вибрации подложки колебаниями синусоидальной формы (частотой 1000 Гц) или обработки наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ). Обработку НЭМИ проводили с различным расположением излучающих электродов (7) по отношению к стеклянным пластинам. В качестве источника вибрационных колебаний применяли пьезокерамический преобразователь (6), подключенный к генератору сигналов синусоидальной формы



(ГЗ-12). Для обработки сплава АЛ 9 в печи Таммана использовали волновод, изготовленный из нержавеющей стали.

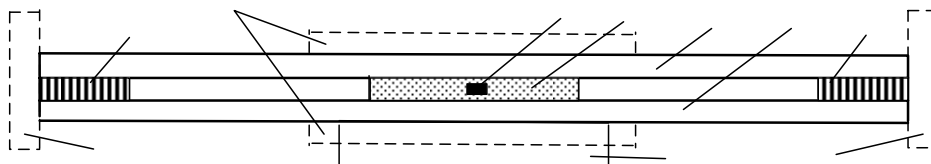


Рис. 1. Схема эксперимента: 1, 4 – стеклянная пластина, 2 – салол, 3 – кристаллы сахара; 5 – прокладка; 6 – пьезокерамический преобразователь; 7 – излучающие электроды

Полученные результаты и обсуждение

Весь эксперимент был проведен в два этапа. На первом этапе исследования проводили с использованием салола, а на втором – алюминиевого сплава АЛ 9.

На рис. 2 в приведены результаты экспериментов по влиянию продолжительности выдержки (выдержка в течение 300, 450, 600, 750, 900 сек.) и вибрации (частотой 1000 Гц, форма импульса – синусоидальная) салола во время кристаллизации, или только в жидком состоянии. Из полученных результатов видно, что изотермическая выдержка расплава салола уменьшает ширину его кристаллов в исследуемом временном диапазоне. Минимальная ширина кристаллов салола достигается при вибрации во время кристаллизации. Вибрационная обработка в жидком состоянии вначале (до 600 сек.) уменьшает, а затем увеличивает размер кристаллитов. Структурный анализ позволил выявить особенности изменения размеров и внутреннего строения кристаллитов, сформированных при вибрационном воздействии. Наряду с уменьшением размеров в подавляющем большинстве кристаллитов обнаружены внутренние микротрещины (рис. 2 б). После обработки выдержкой количество кристаллитов с трещинами значительно меньше. Промежуточное положение по количеству кристаллов с микротрещинами занимают образцы салола, обработанные вибрацией только в жидком состоянии. Изменение количества микротрещин предположительно можно объяснить различной плотностью образцов.

Необходимо отметить, что в результате обработки во время кристаллизации в структуре салола, как правило, формируются несколько центров кристаллизации (рис. 2 а), это подтверждает результаты, полученные в других работах [4]. В большинстве случаев при обработке образцов салола только в расплавленном состоянии кристаллизация идет из одного центра кристаллизации. Измельчение кристаллитов наблюдается только при малых продолжительностях (300 сек.) обработки НЭМИ (рис. 2 г).

Увеличение времени обработки способствует дальнейшему измельчению кристаллитов. Однако, учитывая совпадение интервалов разброса экспериментальных результатов с таковыми для изотермической выдержки, утвер-

ждать о положительном влиянии НЭМИ при этих продолжительностях некорректно.

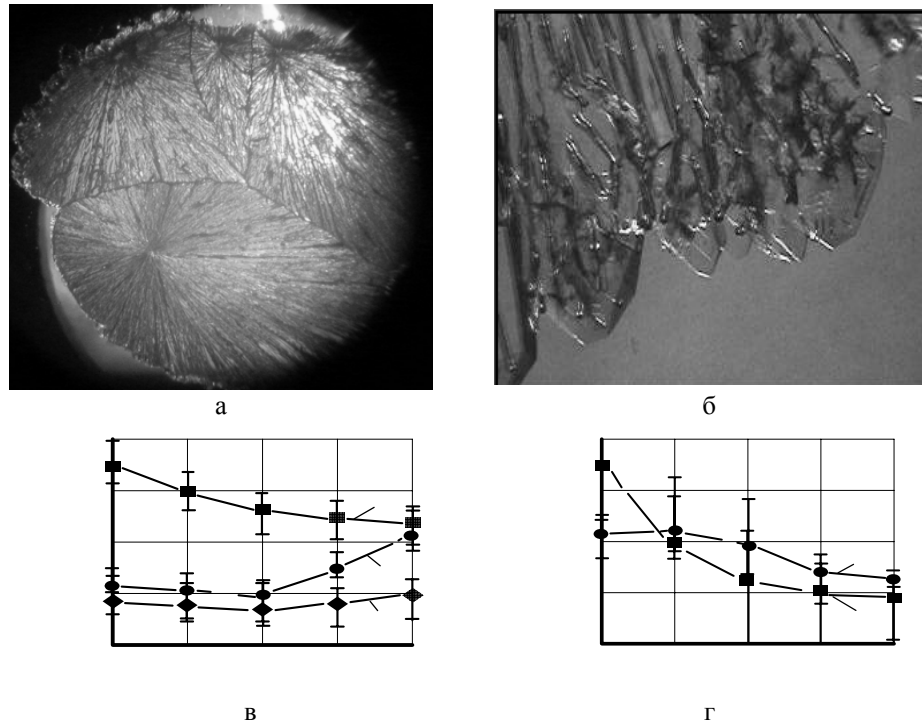


Рис. 2. Обработка салона вибрацией и НЭМИ: а – кристаллизация из трех центров кристаллизации (X5); б – вид кристаллов салона после вибрационной обработки (X20); в – выдержка и вибрационная обработка, 1 – изотермическая выдержка расплава; 2 – вибрация в жидком состоянии; 3 – вибрация в процессе кристаллизации; г – выдержка и обработка НЭМИ, 1 – изотермическая выдержка; 2 – облечение НЭМИ

Полученный результат можно предположительно объяснить различной природой влияния выдержки и обработки НЭМИ. По-видимому, для такого малого объема салона энергия минимального режима облучения является избыточной. Для более аргументированного объяснения необходимы исследования физики процессов, происходящих в обрабатываемом материале при воздействии НЭМИ. Такие исследования, несмотря на отдельные попытки [2], до настоящего времени не проводились. Кроме того, в генераторах НЭМИ нет плавной регулировки энергии и длительности импульса, что, по-видимому, является решающим фактором влияния излучения с наноразмерной длиной волны на кластеры расплава.

В качестве материала для исследования влияния внешней обработки на изменение свойств в жидком и твердом состоянии использовали литейный алюминиевый сплав АЛ 9. Анализ результатов предварительных эксперимен-



тов позволил установить незначительное изменение свойств АЛ 9 в зависимости от выдержки (в исследуемых интервалах выдержки и температуры), и поэтому ниже приводятся результаты экспериментов с использованием вибрационной и электромагнитной обработок (рис. 3).

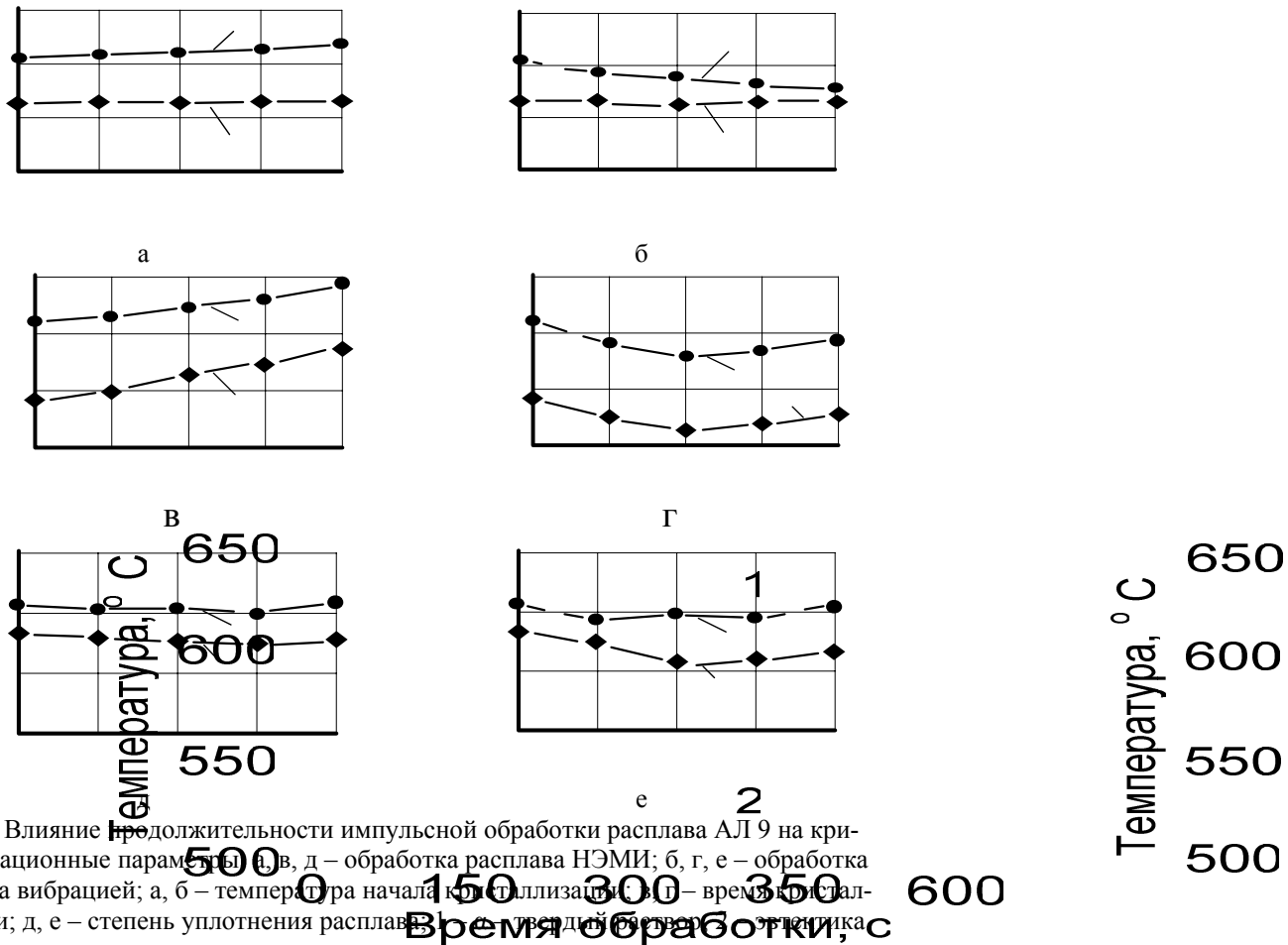


Рис. 3. Влияние продолжительности импульсной обработки расплава АЛ 9 на кристаллизационные параметры: а, в, д – обработка расплава НЭМИ; б, г, е – обработка расплава вибрацией; а, б – температура начала кристаллизации; в, г – время кристаллизации; д, е – степень уплотнения расплава.

Как следует из полученных результатов, увеличение продолжительности обработки НЭМИ способствует росту температур начала кристаллизации α – твердого раствора $t_{л}$ ($t_{л\alpha}$), что объясняется растворением центров кристаллизации. При вибрационной обработке, наоборот, температура ($t_{л}$) уменьшается из-за возникновения дополнительных центров кристаллизации (схлопывающихся кавитационных газовых пузырьков) в процессе движения вибрационной волны в расплаве [1]. Температура начала кристаллизации эвтектики ($t_{лэ}$) вне зависимости от вида обработки практически не изменяется. Наиболее существенно от продолжительности обработки зависит время кристаллизации. В случае исследования НЭМИ оно линейно возрастает, а при вибрации – до 300 сек., – уменьшается. Дальнейшее увеличение продолжительности

Время кристаллизации, с
270
180
90
60
0

Время обработки, с
150 300 350 600

Время кристаллизации, с
270
180
90
60

Температура, °С
650
600
550
500

Время кристаллизации, с
270
180
90
60
0

Время кристаллизации, с
270
180
90
60
0



обработки приводит к росту времени кристаллизации до величин, равных исходным значениям. Степень уплотнения расплава α – твердого раствора – примерно одинакова вне зависимости от вида внешнего воздействия за исключением увеличения плотности эвтектики при обработке вибрацией. При этом характер кривой степени уплотнения коррелирует с кривой изменения времени кристаллизации.

Был проведен металлографический анализ поперечных шлифов из образцов АЛ 9, изготовленных из материала, исследованного ранее методом гамма-плотнометрии. Средний размер кристаллов α – твердого раствора – уменьшается по мере увеличения времени вибрационной обработки расплава, при этом размер эвтектических зерен несколько возрастает. Подобный характер изменения размеров структурных составляющих сплава, но в меньшей степени, наблюдается при обработке НЭМИ.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наиболее интенсивно измельчение кристаллитов салола происходит при вибрационной обработке, обработка НЭМИ уменьшает размер кристаллитов в меньшей степени. При продолжительности воздействия НЭМИ более 300 сек. размеры кристаллов одинаковы с образующимися при изотермической выдержке.

2. Вибрационная обработка салола во время кристаллизации увеличивает количество кристаллитов с микротрещинами, а кристаллизация идет из нескольких центров кристаллизации, в отличие от экспериментов, где обрабатывается только расплав.

3. Увеличение продолжительности обработки НЭМИ сплава АЛ 9 приводит к росту температуры начала кристаллизации и времени кристаллизации α – твердого раствора, – при вибрации температура начала кристаллизации α – твердого раствора – снижается.

Библиографические ссылки

1. *Физические методы воздействия* на процессы затвердевания сплавов / Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. – М.: Металлургия, 1995.
2. *Новые электрофизические методы* обработки материалов в точном литье / Л. Г. Знаменский, Б. А. Кулаков, В. В. Крымский // М.: Машиностроение. – № 97. – 1997.
3. *Физико-химические исследования* металлургических процессов / П. П. Арсентьев, В. В. Яковлев, М. Г. Крашенинников, Л. А. Пронин, Е. С. Филиппов. – М.: Металлургия, 1988.
4. *Кристаллизация* и фазовые переходы / Н. Н. Сирота, В. М. Варикаш // Докл. АН БССР. – Минск, 1962.